

УДК 621.22:629.349

Славгородский В. П.,
к.т.н. Бревнов А. А.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРОЛЛЕЙБУСНОГО ПАРКА ПУТЁМ УСТАНОВКИ ОБЪЁМНОЙ ГИДРОТРАНСМИССИИ НА БАЗЕ ТРОЛЛЕЙБУСА ЗиУ-9 (682-Б)

Предложена установка гидрообъёмной трансмиссии привода задних ведущих колёс троллейбуса. Полученные с помощью математических и аналитических расчётов данные об эксплуатационных и энергетических затратах троллейбуса показывают, что причиной нерационального расхода электроэнергии является реостатно-контакторная система управления, что ведёт к большому количеству рассеивания электроэнергии в атмосферу. Рассмотрены и проанализированы динамические изменения скорости и тяги подвижного состава до и после модернизации.

Ключевые слова: гидрообъёмная трансмиссия, троллейбус, реостатно-контакторная система управления, тяговый электродвигатель, рассеиваемая энергия, потребляемая электроэнергия.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Троллейбус занимает особое место среди других видов городского пассажирского транспорта и имеет множество достоинств, но недостатки, которые кроются в агрегатах, механизмах и их элементах, ограничивают возможность развития столь перспективного наземного транспорта.

Реостатно-контакторная система управления (РКСУ) – комплекс электромеханического оборудования, предназначенный для регулирования тока в обмотках тяговых электродвигателей (ТЭД) подвижного состава троллейбуса. В основу принципа работы РКСУ положено подключение к обмоткам ТЭД набора фиксированных элементов сопротивления, называемых пуско-тормозными реостатами, которые ограничивают силу проходящего через эти обмотки электрического тока. Ступенчатое изменение подключенного к обмоткам ТЭД сопротивления достигается посредством достаточно сложной коммутации групп пуско-тормозных реостатов специализированным устройством, называемым групповым реостатным контроллером. Коммутация групп происходит благодаря механическому замыканию/размыканию контактов цепи управления и силовых цепей тягового двигателя в определенной последовательности. Необходимость ступенчатого изменения диктуется требованиями плавного разгона

торможения троллейбуса во избежание травм находящихся в нем пассажиров, для обеспечения равномерного комфортного разгона и замедления. При сборе той или иной схемы включения пуско-тормозных реостатов в цепь ТЭД используются электромагнитные контакторы – сильноточные коммутационные устройства релейного принципа действия, оснащенные приспособлениями для дугогашения и блокировочными контактами, а так же кулачковые элементы нажимного типа [1,2].

Основные недостатки РКСУ:

1) нерациональный расход электроэнергии, значительная часть которой уходит на нагрев пуско-тормозных сопротивлений без совершения полезной работы. Потери электроэнергии на нагрев составляют более трети общего расхода на электротягу. Таким образом, рассеиваемая энергия в пуско-тормозных реостатах на первой ходовой позиции (позиция пуска) и при торможении определяется [3]:

а) рассеиваемой энергией в пусковых реостатах за один цикл:

$$N_{\text{рас.п.н.}} = (I_{\text{cp}}^2 \cdot R) \cdot t_{\text{n.n}}, \quad (1)$$

где I – среднее значение тока на каждой пусковой позиции, А; R – сопротивление пусковых реостатов на пусковой позиции, Ом; $t_{\text{n.n}} = 0,6с = 0,00017с$ – время срабатывания одной пусковой позиции;

б) рассеиваемой энергией в тормозных реостатах за один цикл:

$$N_{\text{рас.п.м.}} = (I_{\text{ср}}^2 \cdot R) \cdot t_{\text{н.м}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{н.м.}} = 0,6с = 0,00017с$ – время срабатывания одной тормозной позиции.

Общая рассеиваемая энергия в пуско-тормозных реостатах за час работы троллейбуса на маршруте:

$$N_{\text{рас.общ.}} = (N_{\text{рас.п.н.}} + N_{\text{рас.п.м.}}) \cdot n_{\text{ц}} = \quad (3) \\ = (144 + 20) \cdot 120 = 19680 \text{ Вт,}$$

где $t_{\text{ц}} = 100 \div 120 \text{ цикл/ч}$ – число циклов пусков и торможений в час;

2) высокая стоимость комплектующих и расходных материалов – контакторы, кулачковые элементы, элементы сопротивлений содержат дорогостоящие цветные, полудрагоценные и драгоценные металлы. Расходы на запасные части и материалы для ремонта и обслуживания РКСУ составляют около 1,0 млн руб. в год;

3) низкая надежность РКСУ. Сложность электромеханических узлов и деталей является причиной частых выходов их из строя. Кроме того, внештатная работа РКСУ серьезно влияет на работу ТЭД, что, в свою очередь, часто приводит к выходу его из строя с последующим дорогостоящим ремонтом ТЭД или его заменой (стоимость ДК – 210А–3 составляет 350 тыс. руб.) [4];

4) высокая трудоемкость обслуживания. Согласно существующей технологии обслуживания узлов и агрегатов РКСУ, основные трудозатраты приходится на проведение комплекса плановых осмотров и ремонтов (ТО-1, ТО-2, ТР.).

Недостатки есть и у тягового электродвигателя: нецелесообразное потребление энергии, обусловленное его конструкцией, высокая стоимость и затраты на ремонт данного агрегата, а также расходы на обслуживание.

Постановка задачи. Задачей данной работы является проектирование гидрообъемной трансмиссии и сравнительный анализ энергетических, скоростных и тяговых показателей троллейбуса до и после модернизации.

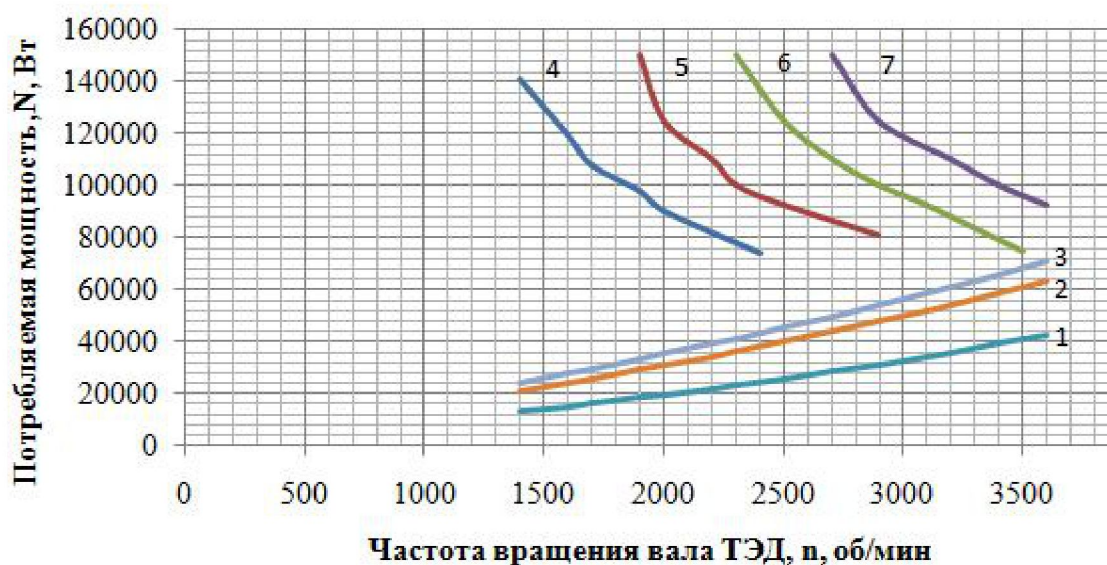
Изложение материала и его результаты. На преодоление сопротивления движению троллейбуса затрачивается значительная часть работы, совершаемой тяговым электродвигателем. Чем больше основное сопротивление движению, тем больше количество электроэнергии, потребляемой ТЭД из контактной сети. Величина основного сопротивления движению троллейбуса определяется его техническим состоянием и состоянием дорожного покрытия [5].

Чтобы наглядно представить целесообразность расхода электроэнергии при движении по ровной поверхности (уклон дороги равен 0%) в трёх режимах движения, а именно: при снаряжённой массе троллейбуса, номинальной вместимости и предельной загруженности на установившемся режиме движения (частота вращения вала ТЭД от 1400 до 3600 об/мин), – были проведены расчеты необходимой мощности тягового электродвигателя на преодоление сопротивления движению и потребляемой мощности ТЭД.

Мощность ТЭД, необходимая для преодоления суммарной силы сопротивления, представлена на рисунке 1 в виде графиков 1, 2, 3. Мощность, расходуемая ТЭД при существующей схеме управления во время работы при полном и ослабленном возбуждении (ПВ и ОВ) обмоток двигателя, показана на графиках 4, 5, 6, 7.

Сравнение характеристик мощностей показывает, что энергоресурсы существующей реостатно-контакторной системы управления ТЭД используются нерационально. Потребляемая мощность значительно превышает мощность, необходимую для движения троллейбуса по маршруту, так как значительная часть электроэнергии рассеивается в атмосферу.

Расход электрической энергии на движение троллейбуса характеризуется показателем её удельного расхода (потребления). Он равен количеству электроэнергии, расходуемой на движение троллейбуса и его вспомогательные нужды в кВт·ч на 1 км пройденного пути [6].



1 – необходимая мощность ТЭД при снаряжённой массе; 2 – необходимая мощность ТЭД при номинальной вместимости; 3 – необходимая мощность ТЭД при предельной вместимости; 4 – затраченная мощность ТЭД при ПВ и ОВ 100%/72%; 5 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 53%; 6 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 40%; 7 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 31%

Рисунок 1 Сравнительная характеристика мощностей

Удельный расход электрической энергии:

$$A' = (U_{\text{ов}} \cdot I_{\text{ср}} \cdot t / (60 \cdot 1000)) / v_{\text{ср}} = \quad (4)$$

$$= 550 \cdot 150 \cdot 50 / (60 \cdot 1000) / 30 = 2.29 \text{ кВт/км},$$

где $U_{\text{ов}}$ – номинальное напряжение ТЭД; $I_{\text{ср}}$ – среднее значение тока при данной средней скорости движения троллейбуса; t – время работы ТЭД под нагрузкой за час движения троллейбуса на маршруте; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения троллейбуса.

В существующих троллейбусах ступенчатая электрическая трансмиссия, осуществляя связь двигателя с колёсами, нагружает двигатель моментом, пропорциональным моменту дорожных сопротивлений, которые, в свою очередь, изменяются в широком диапазоне произвольно. Реостатно-контакторная система управления предполагает использование только части энергии на преодоление дорожных сопротивлений. Значительная часть энергии рассеивается в реостатах. В результате двигатель используется недостаточно эффек-

тивно, и эксплуатационный расход электроэнергии весьма велик.

В работе предлагается модернизировать ходовую часть троллейбуса путём установки гидрообъёмной бесступенчатой трансмиссии, способной эффективно и рационально решать задачи передачи и трансформации энергии от двигателя к колёсам, но сохраняя такие характеристики, как скорость, проходимость, вместимость, а так же габаритные и массовые показатели троллейбуса [7].

Предлагаемая гидравлическая система представляет собой гидрообъёмную трансмиссию (ГОТ) привода задних ведущих колёс пассажирского троллейбуса ЗиУ 682Б. Суть данного объёмного гидропривода заключается в том, что передача энергии происходит посредством жидкости от насоса к гидромотору, таким образом, заставляя колёса данной машины (троллейбуса) вращаться. При этом, в зависимости от рабочих объёмов гидронасоса и гидромотора, могут изменяться момент и частота вращения валов, позволяя

избавиться от скачкообразного изменения скорости машины.

Гидравлическая установка с замкнутым контуром, изображённая на рисунке 2, включает в себя два аксиально-поршневых регулируемых насоса 11 и 12, каждый из которых соединён с двумя аксиально-поршневыми регулируемыми гидромоторами 5 и 6 посредством магистрального трубопровода: на напорной линии, участки $l_V, l'_V, l_{VI}, l_{VII}, l'_{VI}, l'_{VII}$ соединяются через четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель 8 и делитель потока 7; на

всасывающе-сливной линии участки $l_I, l'_I, l_{II}, l_{III}, l'_{II}, l'_{III}$ соединяются, через четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель 8, фильтр тонкой очистки 14, масляно-воздушный теплообменник 13. После гидронасосов установлены предохранительные клапаны 9 и 10 для сброса рабочей жидкости в случае превышения необходимого давления. Подача масла происходит из гидробака 1 через подпиточный насос 3 с напорным клапаном 2 и обратный клапан 4.

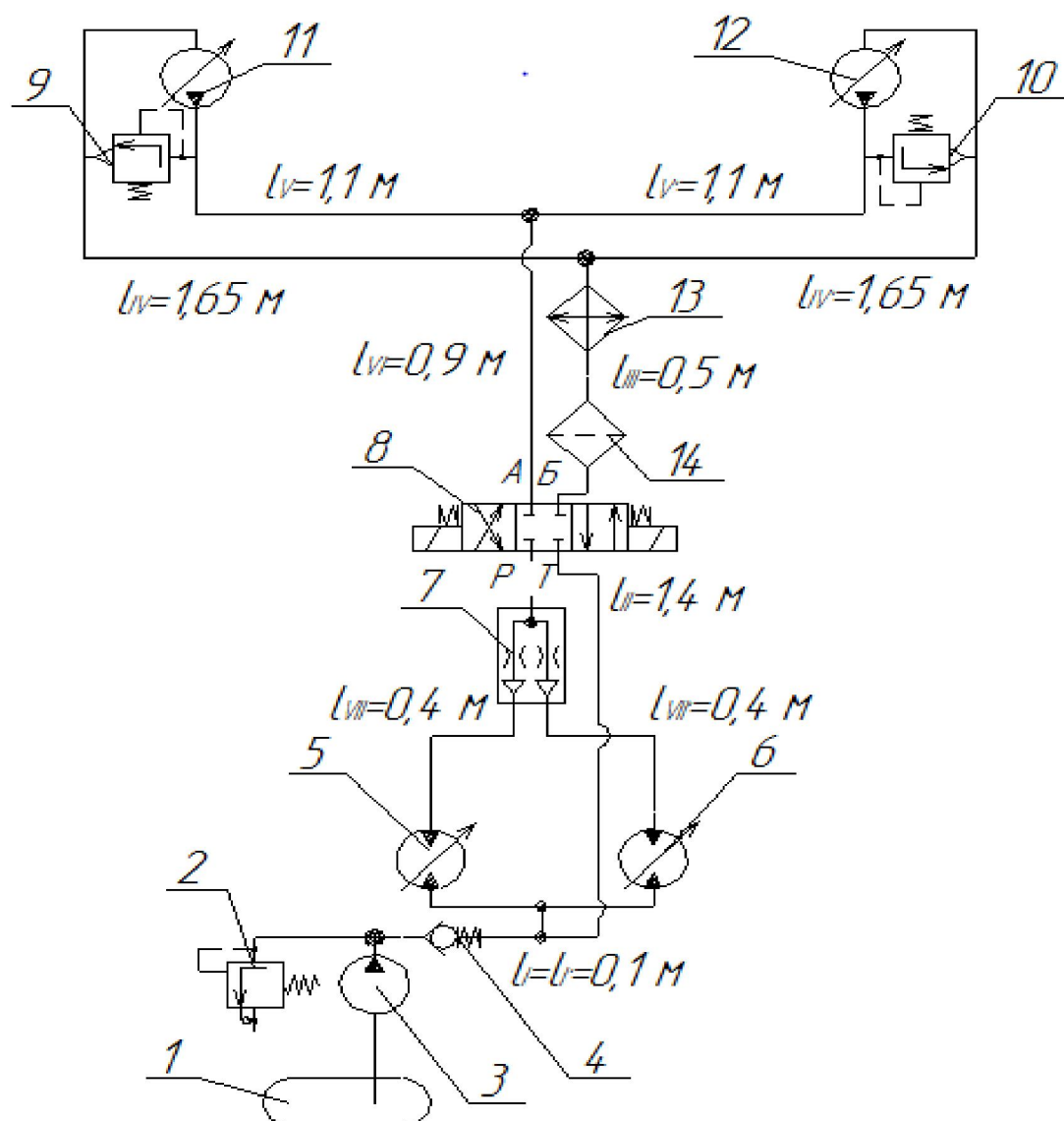


Рисунок 2 Гидрообъёмная трансмиссия привода задних ведущих колёс пассажирского троллейбуса

Трансмиссия работает следующим образом. При движении передним ходом направление вращения насосов 11 и 12 таково, что гидролинии $l_V, l'_V, l_{VI}, l_{VII}, l'_{VII}$ являются напорными, а гидролинии $l_I, l'_I, l_{II}, l_{III}, l'_{IV}, l'_{IV}$ сливными. Вспомогательный насос 3 подаёт рабочую жидкость из бака 1 через обратный клапан 4 в гидролинии $l_{II}, l_{III}, l'_{IV}, l'_{IV}$. Четырёхлинейный трёхпозиционный гидрораспределитель 8 под действием высокого давления в напорной гидролинии находится в позиции А. При этом положении гидрораспределителя напорные гидролинии подсоединяются к делителю потока 7 с целью синхронизации вращения выходных валов регулируемых гидродвигателей посредством деления расхода жидкости (потока) на два

равных. После чего цикл завершается и жидкость поступает во всасывающе-сливную трубопровод, проходя через гидрораспределитель 8, находящийся в положении Б. Жидкость проходит очистку в фильтре 14, охлаждается до необходимой температуры и поступает в регулируемый насос для повторения цикла.

Вследствие модернизации пассажирского троллейбуса ЗиУ 682Б изменилось общее передаточное число редукторов из-за изменения конструкции путём избавления от центрального редуктора. Произведён пересчёт таких показателей, как динамическое изменение скорости (рис. 3, 4) и силы тяги ведущих колёс (рис. 5, 6) для того, чтобы проанализировать и сопоставить технические параметры до и после модернизации.

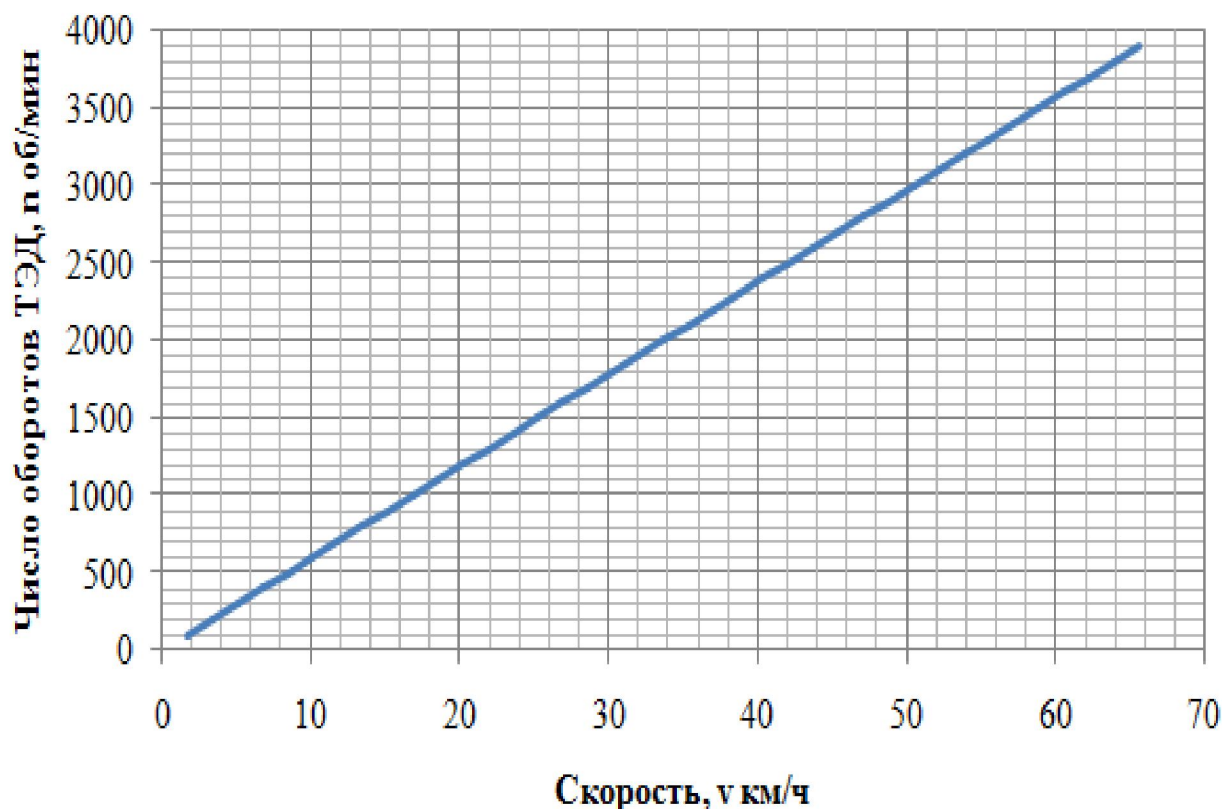


Рисунок 3 График скорости троллейбуса до модернизации

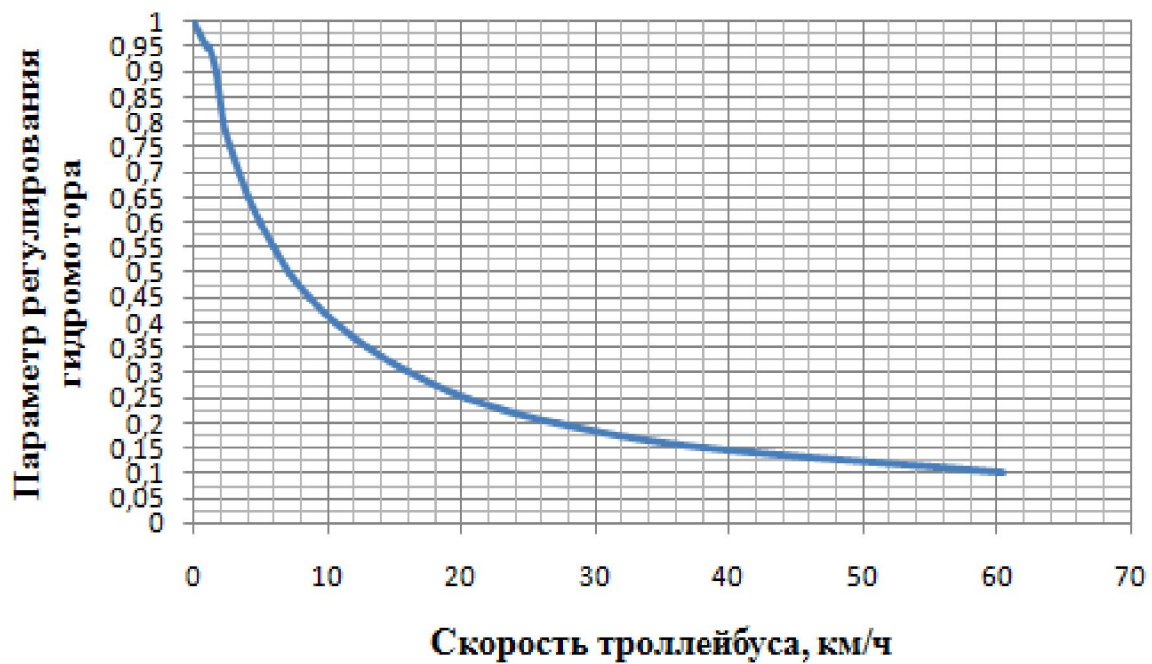
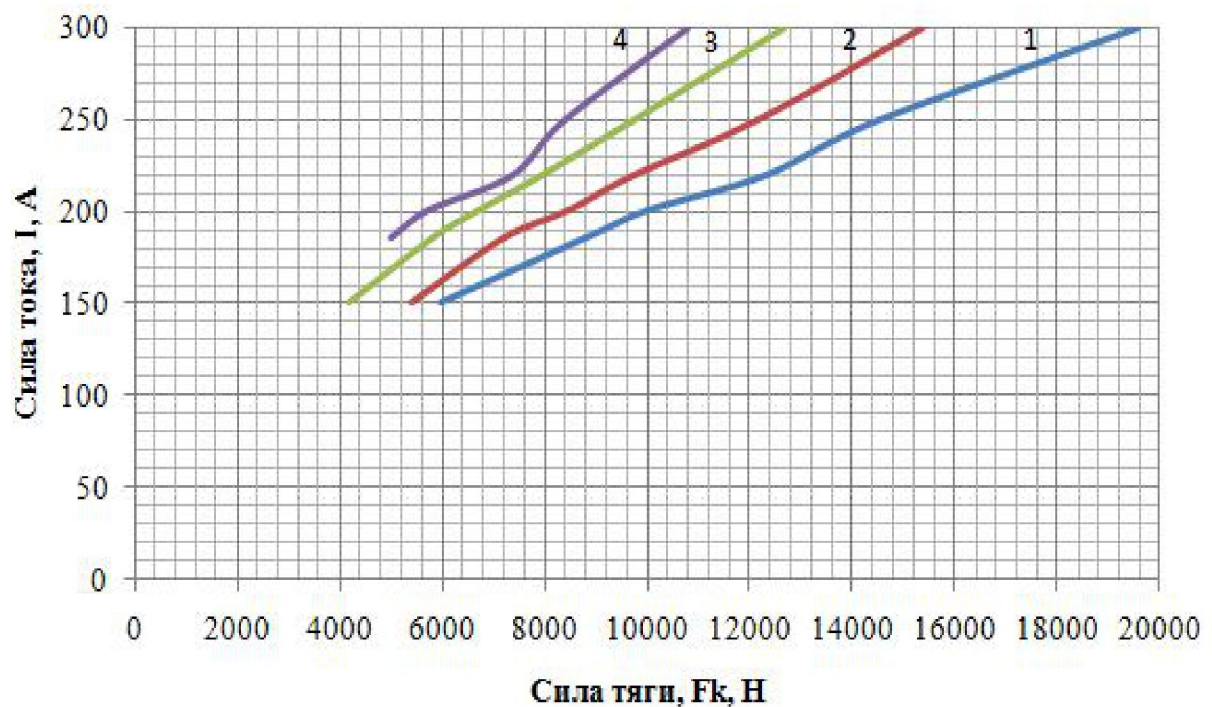


Рисунок 4 График скорости троллейбуса после модернизации



1 – сила тяги ведущих колёс при ПВ и ОВ 100%/72%; 2 – сила тяги ведущих колёс при ОВ 53%;
3 – сила тяги ведущих колёс при ОВ 40%; 4 – сила тяги ведущих колёс при ОВ 31%.

Рисунок 5 График зависимости силы тяги ведущих колёс в установившемся режиме движения до модернизации

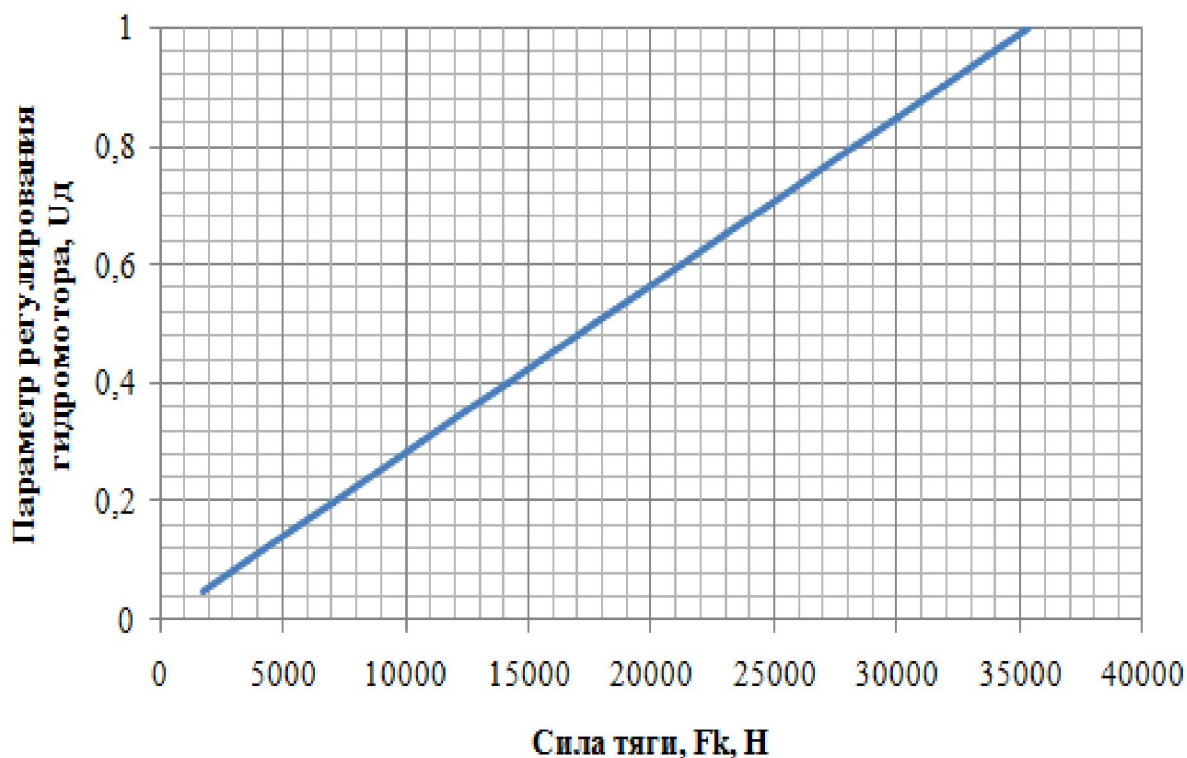


Рисунок 6 График зависимости силы тяги ведущих колёс после модернизации

Сравнивая скоростные и необходимые тяговые показатели троллейбуса до и после модернизации, можно сделать вывод, что троллейбус с гидростатической трансмиссией обеспечивает такие же скоростные и тяговые характеристики, как и в троллейбусе с электромеханической трансмиссией.

После модернизации на месте ТЭД ДК 210-А3 был установлен асинхронный электродвигатель мощностью 75 кВт. Удельный расход электрической энергии троллейбуса при движении по ровной поверхности при средней скорости 30 км/ч составил

$$A_{\text{мод.}} = (N_{\text{эл.дв.}} \cdot t / 60) / v_{\text{ср}} = \quad (5)$$

$$= (64,37 \cdot 50 / 60) / 30 = 1,79 \text{ кВт/км,}$$

где $N_{\text{эл.дв.}}$ – потребляемая электроэнергия ТЭД за час непрерывной работы при необходимом крутящем моменте насоса для развития скорости 30 км/ч.

Экономия затрачиваемой энергии на один кВт/км:

$$\Delta A = A' - A_{\text{мод}} = \quad (6)$$

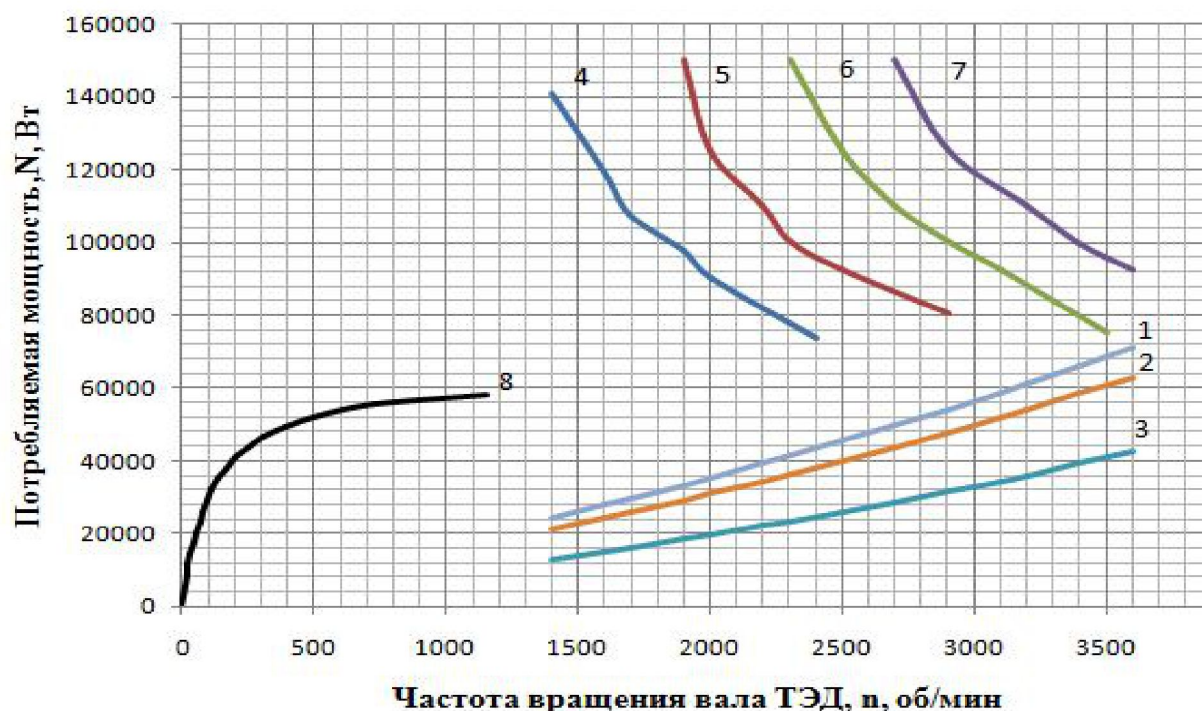
$$= 2,29 - 1,79 = 0,5 \text{ кВт/км.}$$

Для сопоставления расхода электроэнергии до и после модернизации была рассчитана электроэнергия, потребляемая асинхронным ТЭД с установленной ГОТ, находящимся под нагрузкой в среднем 50 мин в час. Сравнение ранее построенной характеристики (рис. 1) с новыми рассчитанными значениями представлено на рисунке 7. Анализ сравниваемых характеристик позволяет сделать вывод о более экономичном режиме работы гидравлической трансмиссии.

Экономический годовой эффект по электроэнергии:

$$A_{\text{мод.}} = (N_{\text{эл.дв.}} \cdot t / 60) / v_{\text{ср}} = \quad (7)$$

$$= 0,5 \cdot 30 \cdot 16 \cdot 365 \cdot 3,8 = 332880 \text{ руб}$$



1 – необходимая мощность ТЭД при снаряжённой массе; 2 – необходимая мощность ТЭД при номинальной вместимости; 3 – необходимая мощность ТЭД при предельной вместимости; 4 – затраченная мощность ТЭД при ПВ и ОВ 100%/72%; 5 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 53%; 6 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 40%; 7 – затраченная мощность ТЭД при ОВ 31%; 8 – затраченная мощность асинхронного ТЭД.

Рисунок 7 Сравнительная характеристика мощностей после модернизации

где $S_{пр}$ – расстояние, пройденное троллейбусом за один рабочий день; $t_{мар}$ – рабочее время на маршруте; 365 – количество дней в году; $C_{эл}$ – средняя стоимость за один кВт электроэнергии [4].

Выводы и направление дальнейших исследований. В результате проведенного исследования была рассмотрена возможность замены реостатно-контакторной системы управления тяговым электродвигателем гидрообъемной трансмиссией. Значительную часть времени троллейбус с РКСУ работает с частичной нагрузкой на невыгодных по расходу энергии режимах.

Гидрообъемная трансмиссия обеспечивает плавное движение троллейбуса с места и непрерывный, осуществляемый без

разрыва потока мощности, разгон. Кроме того, ГОТ позволяет обеспечить работу двигателя в номинальном установившемся режиме без частых разгонов и замедлений, что в конечном итоге заметно увеличивает срок его службы. Таким образом, в результате модернизации ожидается уменьшение энергетических, ремонтных и профилактических затрат. Учитывая, что расход энергии троллейбуса с гидрообъемной трансмиссией будет изменяться на протяжении всего цикла регулирования скорости, так как количество потребляемой электроэнергии будет зависеть от заданного крутящего момента на валу аксиального гидронасоса и времени работы ТЭД под нагрузкой при движении троллейбуса на маршруте, средняя скорость на маршруте

может быть увеличена, а затраты на электрическую тягу снижены, что повысит маневренность и пробег за такой же промежуток времени.

Дальнейшие исследования необходимо направить на поиск возможности умень-

шения энергетических затрат при пониженных нагрузках на ходовую часть троллейбуса, в частности при его остановках.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://eltroll.ru/Blok.php>.
2. Троллейбус пассажирский ЗиУ 682Б [Текст] : учеб. пособие / Г. В. Вишник и др. — М. : Транспорт, 1977. — 208 с.
3. Кутьловский, М. П. Электрическая тяга на городском транспорте [Текст] / М. П. Кутьловский, В. Д. Сургучёв. — М. : Стройиздат, 1964. — 347 с.
4. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://vpt33.ru/content/informaciya_dlya_smi.html
5. Максимов, А. Н. Городской электротранспорт [Текст] / А. Н. Максимов. — М. : Академия, 2004. — 256 с.
6. Богдан, Н. В. Троллейбус. Теория, конструирование, расчёт [Текст] / Н. В. Богдан, Ю. Е. Атаманов, А. И. Сафонов. — Мн. : Ураджай, 1999. — 345 с.
7. Петров, С. Е. Оценка перспективности использования гидрообъемных трансмиссий на автомобильном транспорте [Текст] / С. Е. Петров. — Москва : Изд-во МГТУ «МАМИ». — С. 246–256.

© Славгородский В. П.

© Бревнов А. А.

Рекомендована к печати к.т.н., проф. каф. ММК ДонГТУ Ульяницким В. Н., и.о. директора КП «Алчевскнастрас» Беломытцев Э. А.

Статья поступила в редакцию 22.11.16.

Славгородський В. П., к.т.н. Бревнов О. А. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

МОДЕРНІЗАЦІЯ ТРОЛЕЙБУСНОГО ПАРКУ ШЛЯХОМ УСТАНОВЛЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ГІДРОТРАНСМІСІЇ НА БАЗІ ТРОЛЕЙБУСА ЗІУ-9 (682-Б)

Запропоновано установлення гідрооб'ємної трансмісії повідні задніх ведучих коліс троллейбуса. Отримані за допомогою математичних і аналітичних розрахунків дані про експлуатаційні та енергетичні витрати троллейбуса вказують на те, що причиною нераціональної витрати електроенергії є реостатно-контактна система управління, що приводить до великої кількості розсіювання електроенергії в атмосферу. Розглянуті та проаналізовані динамічні зміни швидкості і тяги рухомого складу до і після модернізації.

Ключові слова: гідрооб'ємна трансмісія, троллейбус, реостатно-контактна система управління, тяговий електродвигун, розсіювана енергія, споживана електроенергія.

Slavgorodskii V. P., PhD Brevnov A. A. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

MODERNIZATION OF A TROLLEYBUS DEPOT THROUGH SETTING UP A VOLUMETRIC HYDRAULIC TRANSMISSION ON TROLLEYBUS ZIU-9 SERIES (682-B)

Setup of hydrostatic transmission of a trolley-bus rear driveline is proposed. Using mathematical and analytical calculations there have been obtained evidence of exploitation and energy costs of a trolleybus which indicate that the reason for irrational expenditure of energy sources is rheostatic power operated motor controller cause a significant amount of energy dispersion in the atmosphere. There have been shown and analyzed the dynamic rate changes as well as a motive power drive before and after modernization.

Key words: hydrostatic transmission, trolleybus, rheostatic power operated motor controller, traction motor, dispersive energy, electric energy input.