

# К вопросу повышения эксплуатационной энергетической эффективности работы восьмиосных пассажирских электровозов постоянного тока

И. Н. НИКОНЧУК

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

**Аннотация.** Задачу по повышению энергетической эффективности работы 8-осных пассажирских электровозов постоянного тока представляется возможным решить посредством отключения части тяговых электродвигателей и поддержания необходимой скорости движения согласно графику остающимися в режиме тяги электродвигателями, благодаря чему существенно сокращается расход электроэнергии на тягу поездов.

Предложенный метод актуален при вождении электровозами серии ЧС7 поездов, масса которых в несколько раз ниже установленных для определенных участков норм, а также для скоростных поездов, имеющих на своем пути следования минимальное количество остановок или не имеющих их вообще. Следует отметить, что трогание поезда с места и разгон до максимальной скорости движения производится на «полной схеме» — с участием в режиме разгона всех восьми тяговых электродвигателей, после чего в зависимости от массы поезда и графика движения в работе остаются от четырех до шести тяговых электродвигателей. Разработан вариант модернизации силовой схемы электровоза при отключении двух тяговых электродвигателей, увеличивающий мощность электровоза в данном режиме.

**Ключевые слова:** электровоз; коллекторные тяговые двигатели; силовая схема; энергопотребление; отключение части тяговых электродвигателей; кинетическая энергия движения поезда; масса поезда

**Введение.** На данный момент парк пассажирских электровозов постоянного тока ОАО «РЖД» обновляется электровозами ЭП2К мощностью 4,8 МВт, которые пришли на смену выработавшим свой ресурс электровозам ЧС2, ЧС2К и ЧС2<sup>Т</sup>. Эти электровозы выпускаются серийно, произведено более 430 единиц.

На участках железных дорог, электрифицированных на постоянном токе, для тяги поездов используются электровозы с коллекторным тяговым приводом (КТП): 6-осные ЧС2<sup>Т</sup> и ЭП2К и более мощные 8-осные электровозы ЧС7. Все три серии электровозов рассчитаны на максимальную скорость в эксплуатации до 160 км/ч, однако максимальная скорость движения пассажирских поездов на сети ОАО «РЖД» в зависимости от оснащённости составов автотормозами не превышает 120–140 км/ч. При этом мощность электровозов ЧС7 на 30% выше мощности электровозов ЭП2К (6,16 против 4,8 МВт), а также они имеют меньшее

передаточное отношение редуктора (1,733 против 2,45) и, следовательно, более скоростные характеристики.

В связи с вышеизложенным складывается ситуация с недоиспользованием мощности электровозов ЧС7, особенно при их эксплуатации с пассажирскими поездами малой и средней массы (420...780 т — 7...13 вагонов), а также на участках с ограничением скорости движения до 120 км/ч. Соответственно, обладающие более скоростными качествами электровозы ЧС7 оптимально использовать для вождения скоростных [1] поездов, обращающихся со скоростью до 140 км/ч. Мощности электровозов ЭП2К недостаточно для вождения поездов массой более 840 т (14 вагонов) на участках с тяжелым профилем пути [2], например: Челябинск—Кропачёво Южно-Уральской железной дороги, Екатеринбург—Пермь Свердловской железной дороги, Белорусское, Киевское, Павелецкое и Рижское направления Московской железной дороги.

В статье предлагается вариант проведения модернизации силовой схемы отключения части тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов серии ЧС7 при проведении их капитального ремонта, что позволит более рационально использовать мощность электровоза в зависимости от массы состава и будет способствовать снижению удельного расхода электроэнергии на тягу поездов.

**История вопроса.** В середине 1970-х гг. максимальная масса пассажирских поездов, обращающихся на сети железных дорог, достигла своего предела в 1440 т (24 вагона). Дальнейшее увеличение массы пассажирских поездов (составов) было ограничено длиной приемоотправочных путей пассажирских станций и платформ. В то время для вождения пассажирских поездов использовались 6-осные электровозы серий ЧС2 и ЧС2<sup>Т</sup> мощностью 4,2 и 4,62 МВт соответственно. Тяговые характеристики этих электровозов рассчитывались на максимальную массу пассажирских поездов в 1100 т (18 вагонов) и легкий профиль пути [2].

Вождение пассажирских поездов массой более 1100 т, особенно на участках с тяжелым профилем

■ E-mail: [nikoncukivan1985@gmail.com](mailto:nikoncukivan1985@gmail.com) (И. Н. Никончук)

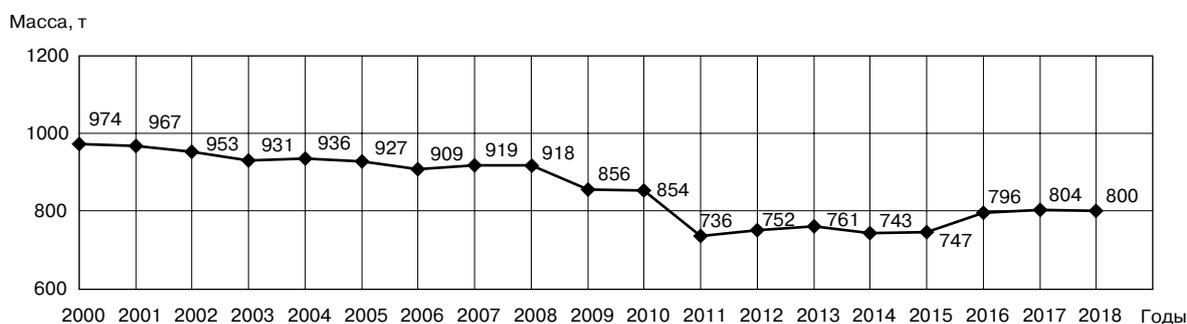


Рис. 1. Средняя масса пассажирского поезда  
Fig. 1. Average mass of a passenger train

пути Южно-Уральской, Свердловской и Московской железных дорог, осуществлялось на пределе тяговых возможностей электровозов ЧС2. Поэтому локомотивные депо были вынуждены формировать сплотки из электровозов, работающих по системе многих единиц.

В середине 1970-х гг. по заказу МПС СССР на заводах «Шкода» (с 1995 г. — Škoda Transportation) в Чехословакии были созданы более мощные 8-осные пассажирские электровозы постоянного тока с КТП серии ЧС200 и ЧС6 мощностью 8,4 МВт. В 1983 г. был начат серийный выпуск пассажирских электровозов ЧС7 мощностью 6,16 МВт, за 15 лет производства был выпущен 321 электровоз данной серии.

Электровозы ЧС7 в первую очередь стали использоваться на участках с тяжелым профилем пути с интенсивным движением пассажирских поездов повышенной массы до 1440 т (24 вагона). При этом их энергоэффективность была удовлетворительной, поскольку тяговые характеристики электровоза при вождении поездов такой массы использовались практически полностью.

Начиная с 2000-х гг. интенсивное развитие внутреннего авиасообщения в России способствовало снижению пассажирооборота железнодорожного транспорта в поездах дальнего следования, что повлекло за собой

сокращение количества вагонов в пассажирских поездах и, следовательно, уменьшение средней массы составов. Средняя масса поезда в пассажирском движении по сети железных дорог снизилась за период 2000–2018 гг. на 21 % (рис. 1). В связи с этим и энергоэффективность 8-осных электровозов ЧС7 при вождении поездов меньшей массы уменьшилась по сравнению с 6-осными электровозами ЧС2<sup>Т</sup> и ЭП2К. Снижение энергоэффективности электровозов ЧС7 при вождении ими поездов массой 840 т и менее в одном графике с электровозами ЧС2<sup>Т</sup> и ЭП2К привело к перерасходу электроэнергии ввиду избыточной мощности ЧС7 (рис. 2).

Электровозы ЭП2К в плане снижения расхода электроэнергии на тягу поездов лучше использовать для вождения составов средней массы до 840 т (14 вагонов) на участках с легким профилем пути и максимальной скоростью движения до 120 км/ч. Таким образом, наиболее соответствующими требованиям вождения скоростных поездов, обращающихся со скоростью движения до 140 км/ч и имеющих массу, близкую к предельно допустимой на участках с тяжелым профилем пути, являются электровозы серии ЧС7.

**Пассажирские перевозки сегодня.** В настоящее время средняя масса пассажирских поездов в России составляет 600–840 т (10–14 вагонов) [3], а максимальная, даже в пиковые периоды перевозок, не превышает 1080–1200 т (18–20 вагонов), причем в период межсезонья она снижается до 360–480 т (6–8 вагонов). Как следствие, при вождении большинства пассажирских поездов мощность и конструкционная скорость 8-осных электровозов постоянного тока серии ЧС7 недоиспользуется.

Для вождения пассажирских поездов в Восточной Европе широкое применение получили 4-осные электровозы с КТП мощностью 3,4–4,2 МВт. Такие электровозы являются энергоэффективными, так как их мощности достаточно для вождения поездов массой до 840 т (14 вагонов) на участках с тяжелым профилем пути и с максимальной скоростью до 140–160 км/ч [4]. В нашей стране 4-осные электровозы в пассажирском движении не применяются. Однако этот опыт свидетельствует о целесообразности вождения пассажирских

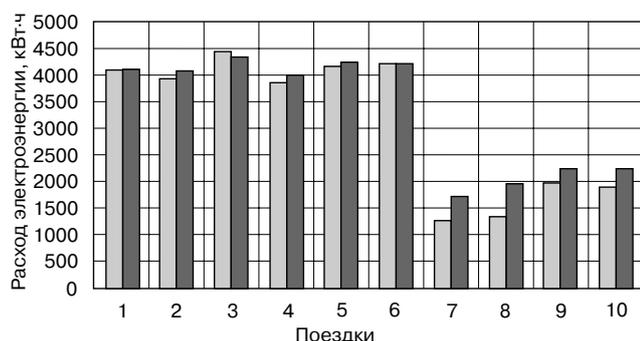


Рис. 2. Сравнительный расход электроэнергии электровозами ЭП2К и ЧС7:

□ — ЭП2К; ■ — ЧС7

Fig. 2. Comparative power consumption of EP2K and ChS7 electric locomotives:  
□ — EP2K; ■ — ChS7

поездов массой до 840 т на сети ОАО «РЖД» 8-осными электровозами со схемой отключения части ТЭД (от двух до четырех из восьми), при этом энергопотребление электровоза на тягу поездов может быть снижено.

Силовой схемой электровоза ЧС7 предусматривается возможность отключения любой одной из двух секций локомотива с четырьмя ТЭД (рис. 3). Существует аварийный режим, в котором предусмотрено отключение тележки электровоза (двух неисправных ТЭД) (рис. 4, 5). В этом случае при трогании с места и разгоне до ходовой позиции последовательного (серийного — С) соединения электрическая схема 8-осного электровоза ЧС7 с оставшимися в работе шестью ТЭД полностью аналогична схеме 6-осного электровоза (рис. 4, а и 5, а). Однако далее при переходе на реостатные позиции последовательно-параллельного (серийно-параллельного — СП) соединения на секции с отключенной (неисправной) парой ТЭД (7–8) другая, не отключенная (исправная) пара ТЭД (5–6) на СП-соединении в тяге не участвует (рис. 4, б). Затем при переходе на параллельное (П) соединение не участвующая в работе на СП-соединении пара ТЭД (5–6) вновь включается в работу (рис. 4, в и 5, в).

Отключение при работе на СП-соединении двух (исправных) ТЭД в секции, на которой отключаются два других (неисправных), является вынужденной мерой, предназначенной для недопущения приложения к ним напряжения, вдвое большего по сравнению с работой в аварийном режиме на СП-соединении секции электровоза, на которой ТЭД не отключаются. Данное обстоятельство вызывает «провал» электровоза по силе тяги на СП-соединении (в режиме отключения пары ТЭД). Для устранения данного недостатка и более оптимального управления режимами отключения ТЭД электровоза ЧС7 предлагается модернизация его силовой схемы.

Сравнивая зарубежный и отечественный опыт эксплуатации пассажирских электровозов с поездами малой и средней массы — 360–720 т (6–12 вагонов), можно сделать вывод о том, что целесообразно осуществлять вождение таких поездов электровозами ЧС7, используя схему работы электровоза на четырех ТЭД при безусловном соблюдении графика движения поездов; при увеличении массы поезда до 780–960 т (13–16 вагонов) следует применять схему его работы на шести ТЭД.

В обоих случаях отключение необходимого количества ТЭД (двух или четырех), в зависимости от массы состава, осуществляется только после разгона поезда до максимальной скорости движения с участием в режиме тяги всех восьми ТЭД электровоза. Отключение части ТЭД и ведение электровоза в режиме тяги на более высоких соединениях ТЭД с применением ступеней ослабления возбуждения позволит в целом существенно снизить расход электроэнергии на тягу поездов. Ниже рассмотрим учет расхода электроэнергии пассажирскими электровозами в депо.

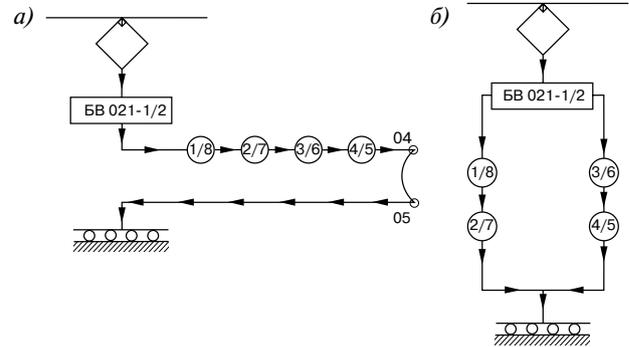


Рис. 3. Схемы перегруппировки ТЭД электровоза ЧС7 при отключении секции: а — С- и СП-соединение,  $U_{ТЭД} = 750$  В; б — П-соединение,  $U_{ТЭД} = 1500$  В; 1–8 — ТЭД  
 Fig. 3. Diagrams of rearranging traction electric motors (TEM) of the ChS7 electric locomotive when the section is switched off: а — serial connection (С) and serial-parallel connection (СП),  $U_{ТЭМ} = 750$  V; б — parallel connection (П),  $U_{ТЭМ} = 1500$  V; 1–8 — TEM

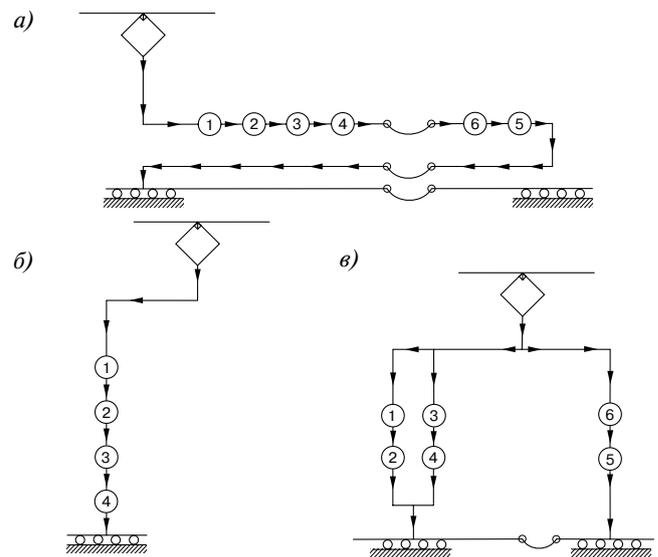


Рис. 4. Схемы перегруппировки ТЭД электровоза ЧС7 с отключенной парой ТЭД (7 и 8) в заводской схеме: а — С-соединение,  $U_{ТЭД} = 500$  В; б — СП-соединение,  $U_{ТЭД} = 750$  В; в — П-соединение,  $U_{ТЭД} = 1500$  В; 1–6 — ТЭД  
 Fig. 4. Schemes for rearranging TEM of the ChS7 electric locomotive with the disconnected pair of TEM (7 and 8) in the factory circuit: а — C-connection,  $U_{ТЭМ} = 500$  V; б — СП-connection,  $U_{ТЭМ} = 750$  V; в — П-connection,  $U_{ТЭМ} = 1500$  V; 1–6 — TEM

**Сравнительный статистический анализ расхода электроэнергии пассажирскими электровозами постоянного тока в локомотивных депо.** На сети ОАО «РЖД» учет удельного расхода электроэнергии (УРЭ) пассажирскими электровозами в эксплуатационных локомотивных депо осуществляется с помощью регистраторов параметров движения и автоведения (РПДА), установленных на каждом электровозе эксплуатируемого парка депо и подлежащих регулярной поверке в утвержденном порядке. Полученные за каждую поездку данные анализируются на предмет их отклонения от действующих норм УРЭ по каждой серии электровозов.

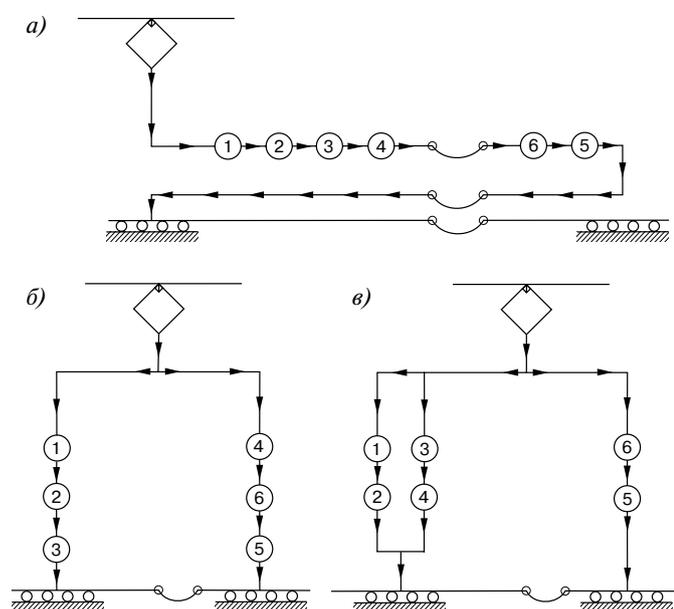


Рис. 5. Схемы перегруппировки ТЭД электровоза ЧС7 с отключенной парой ТЭД (7 и 8) при модернизации:

а — С-соединение,  $U_{\text{ТЭД}} = 500 \text{ В}$ ; б — СП-соединение,  $U_{\text{ТЭД}} = 1000 \text{ В}$ ;  
в — П-соединение,  $U_{\text{ТЭД}} = 1500 \text{ В}$ ; 1–6 — ТЭД

Fig. 5. Schemes for rearranging TEM of the ChS7 electric locomotive with disconnected pair of TEM (7 and 8) during modernization:

а — C-connection,  $U_{\text{ТЕМ}} = 500 \text{ В}$ ; б — СП-connection,  $U_{\text{ТЕМ}} = 1000 \text{ В}$ ;  
в — P-connection,  $U_{\text{ТЕМ}} = 1500 \text{ В}$ ; 1–6 — TEM

Необходимо отметить, что учет УРЭ ведется без указания серии электровоза, на котором была совершена поездка. Фактический расход по поездке учитывается следующим образом: при экономии электроэнергии записывается положительная величина в  $\text{кВт}\cdot\text{ч}/10^4 \text{ т}\cdot\text{км}$  брутто, при пережоге — отрицательная величина. Далее показатели УРЭ за поездку каждого машиниста алгебраически суммируются. Если машинист водит поездку со знакопеременными результатами, то значения сэкономленной электроэнергии суммируются, а пережог потом вычитается из полученной суммы по экономии.

Для сравнительного анализа УРЭ по сериям электровозов ЧС7 и ЭП2К на участке Москва—Вековка (легкий профиль пути) осуществлена выборка данных по учету электроэнергии РПДА за ноябрь 2018 г. в депо Москва-Сортировочная Московской железной дороги и произведено сопоставление данных при вождении одних и тех же поездов равной массы на одном и том же участке в выбранном направлении при отсутствии предупреждений об ограничении скорости на всем пути следования.

Эксплуатация 6-осных электровозов ЭП2К (мощность 4,8 МВт) совместно с 8-осными электровозами ЧС7 (мощность 6,16 МВт) показывает следующее. УРЭ примерно одинаков для массы составов 960 т как для электровозов ЭП2К, так и для ЧС7 (см. рис. 2, поездки 1–6), разброс величин менее 4%. Для поездок 9 и 10 с

массой составов 740 т УРЭ электровозов ЧС7 больше на 12,5–16,5% по сравнению с УРЭ электровозов ЭП2К, а для поездок 7 и 8 (масса 540 т) — больше на 26–32%.

Данный анализ показывает, что на легких по профилю участках пути для тяги поездов массой до 960 т (16 вагонов) включительно целесообразно использовать 6-осные электровозы ЭП2К. Однако их тяговые характеристики при вождении пассажирских поездов массой более 840 т (14 вагонов) на тяжелых по профилю участках пути используются практически полностью. Поэтому на участках с тяжелым профилем пути при вождении поездов, масса которых превышает 840 т, а также со скоростными поездами целесообразно использовать обладающие необходимыми тяговыми характеристиками более мощные электровозы ЧС7.

Как известно, масса пассажирских поездов во встречных направлениях одного обслуживаемого участка, закрепленного за электровозами, может отличаться в 4 раза (от 360 до 1440 т). Поэтому в одном из направлений обслуживаемого участка 8-осный электровоз ЧС7 при работе в режиме тяги всех ТЭД на всем пути следования будет недоиспользован по мощности при ведении поезда, масса которого в несколько раз меньше максимально установленной для данного типа локомотива.

Для рационального использования мощного 8-осного электровоза ЧС7 предлагается при вождении пассажирских поездов применять два способа отключения части ТЭД в зависимости от массы состава и средней скорости движения поезда на участке обращения электровоза.

Первый способ заключается в отключении одной секции электровоза и дальнейшем продолжении движения (после разгона до максимальной скорости на восьми ТЭД) в режиме тяги на четырех ТЭД. Данный способ возможно использовать с сохранением заводской схемы электровоза, в которой предусмотрена возможность отключения секции (рис. 3).

Второй способ заключается в отключении пары ТЭД электровоза, однако в данном случае для работы в режиме тяги на СП-соединении шести ТЭД необходима модернизация силовой схемы электровоза, которую предлагается осуществить при капитальном ремонте электровозов серии ЧС7 на локомотиворемонтном заводе (рис. 5, б).

В приписном парке ОАО «РЖД» в настоящее время находится около 220 электровозов серии ЧС7, их средний возраст составляет 29 лет. Максимальный срок эксплуатации для данной серии электровозов, не прошедших процедуру продления срока службы, установлен в 32 года. Половина от общего количества электровозов прошли процедуру продления срока службы до 2014 г. и могут эксплуатироваться до 45–50-летнего возраста. После вступления в силу 02.08.2014 г. Технического регламента Таможенного

союза ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» процедура продления срока службы локомотивов при выполнении капитальных ремонтов на заводах больше не производится. Выработавшие свой установленный срок службы электровозы серии ЧС7, не имеющие его продления, на данный момент отставлены в запас, и их общее число постоянно увеличивается.

Как для вновь изготавливаемых, так и для модернизируемых электровозов согласно п. 8.5 ГОСТ Р 55364–2012 [5] комплексная система управления и диагностики должна обеспечивать нагружение двигателя по характеристике экономичных режимов работы путем отдельного оперативного управления группами ТЭД в режиме тяги. Поэтому при проведении заводских ремонтов электровозов ЧС7 предложен вариант модернизации их силовой схемы при работе на СП-соединении и изначально отключенной паре ТЭД. После модернизации силовая схема электровоза ЧС7 работает аналогично схеме 6-осных электровозов постоянного тока с КТП. Это улучшает их тяговые свойства и способствует сокращению УРЭ на тягу пассажирских поездов средней и малой массы.

#### **Мероприятия по сокращению УРЭ на тягу поездов.**

Стратегическими документами по развитию железнодорожного транспорта [6, 7] запланировано последовательное снижение УРЭ на тягу поездов, значение которого должно сокращаться на 0,4% по сравнению с фактическим значением предыдущего года [8]. Рассмотрим основной способ сокращения УРЭ — отключение части ТЭД после разгона поезда до максимальной скорости движения с участием в режиме тяги всех ТЭД электровоза.

Предусматривается отключение одной 4-осной секции 8-осных электровозов серии ЧС7 или ТЭД одной 2-осной тележки в процессе движения [9]. Методы отключения части ТЭД [9–12] предлагались для грузовых электровозов с КТП, на которых требовался монтаж дополнительного оборудования, производящего отключение ТЭД. При этом экономия электроэнергии достигалась только при их работе с поездами, масса которых была в 2–3 раза ниже установленной нормы на конкретном участке линии. Отключение ТЭД секции электровоза осуществлялось только после разгона поезда до скорости 80 км/ч при работе в режиме тяги всех восьми ТЭД электровоза.

Как отмечается в [11], при увеличении массы состава экономия электроэнергии снижается при переходе на работу одной 4-осной секцией. При дальнейшем повышении массы экономии электроэнергии не происходит, может появиться ее перерасход, возрастающий при увеличении скорости движения. Это подтверждается расчетными данными [13]. Однако результаты испытаний [11] и расчетов [13] справедливы для грузовых поездов, имеющих значительные ве-

личины основного сопротивления движению, возрастающие с увеличением скорости движения грузовых поездов. Согласно данным [14] порожние грузовые составы имеют повышенный УРЭ, примерно в 4 раза больший, чем грузеные поезда. Необходимо отметить, что в работах [9–12] возможность отключения пары ТЭД и последующей работе 8-осного электровоза (после разгона им поезда до максимальной скорости) на шести ТЭД не рассматривалась вообще.

До недавнего времени вопрос экономии электроэнергии на тягу поездов в пассажирском движении при использовании 8-осных электровозов постоянного тока с КТП практически не рассматривался, так как они эксплуатировались с составами большой массы (до 1440 т — 24 вагона). Однако представленная на рис. 1 прогрессирующая отрицательная динамика изменения средней массы пассажирского поезда и сравнительные данные УРЭ эксплуатирующихся в одном графике 6-осных электровозов ЭП2К и 8-осных электровозов ЧС7 (рис. 2) свидетельствуют о необходимости снижения УРЭ путем изыскания дополнительных резервов экономии электроэнергии при обслуживании пассажирских поездов массой 600–840 т (с 10–14 вагонами и менее) электровозами ЧС7.

**Экономия расхода электроэнергии за счет снижения сил сопротивления движению поезда.** На величину расхода электроэнергии сильное влияние оказывает сопротивление движению поезда, так как большая часть электроэнергии идет на его преодоление. Значения основного сопротивления движению поезда возможно прогнозировать по эмпирическим формулам, применяемым в тяговых расчетах [15]. В реальности величины сопротивления движению отдельных вагонов и поезда в целом имеют существенный разброс. Причина разброса — различный тип и техническое состояние подвижного состава, используемого в данный момент.

Опытные машинисты локомотивного депо им. Ильича (Белорусское направление) добились получения дополнительной экономии электроэнергии при вождении поездов за счет их формирования из вагонов габарита РИЦ–200 без подвагонных осевых генераторов, имеющих значительно меньшее сопротивление движению (рис. 6).

Известно, что с увеличением скорости движения удельное сопротивление ему увеличивается, и это вызывает значительный рост УРЭ. Однако ускоренные пассажирские поезда, которые двигаются с увеличенной технической скоростью, сформированные исключительно из вагонов без подвагонных осевых генераторов, имеют меньше разгонов, замедлений и остановок, что отчасти ведет к снижению УРЭ. Поэтому количество электроэнергии, затрачиваемое на преодоление основного сопротивления движению такого поезда, порой оказывается меньше, чем количество

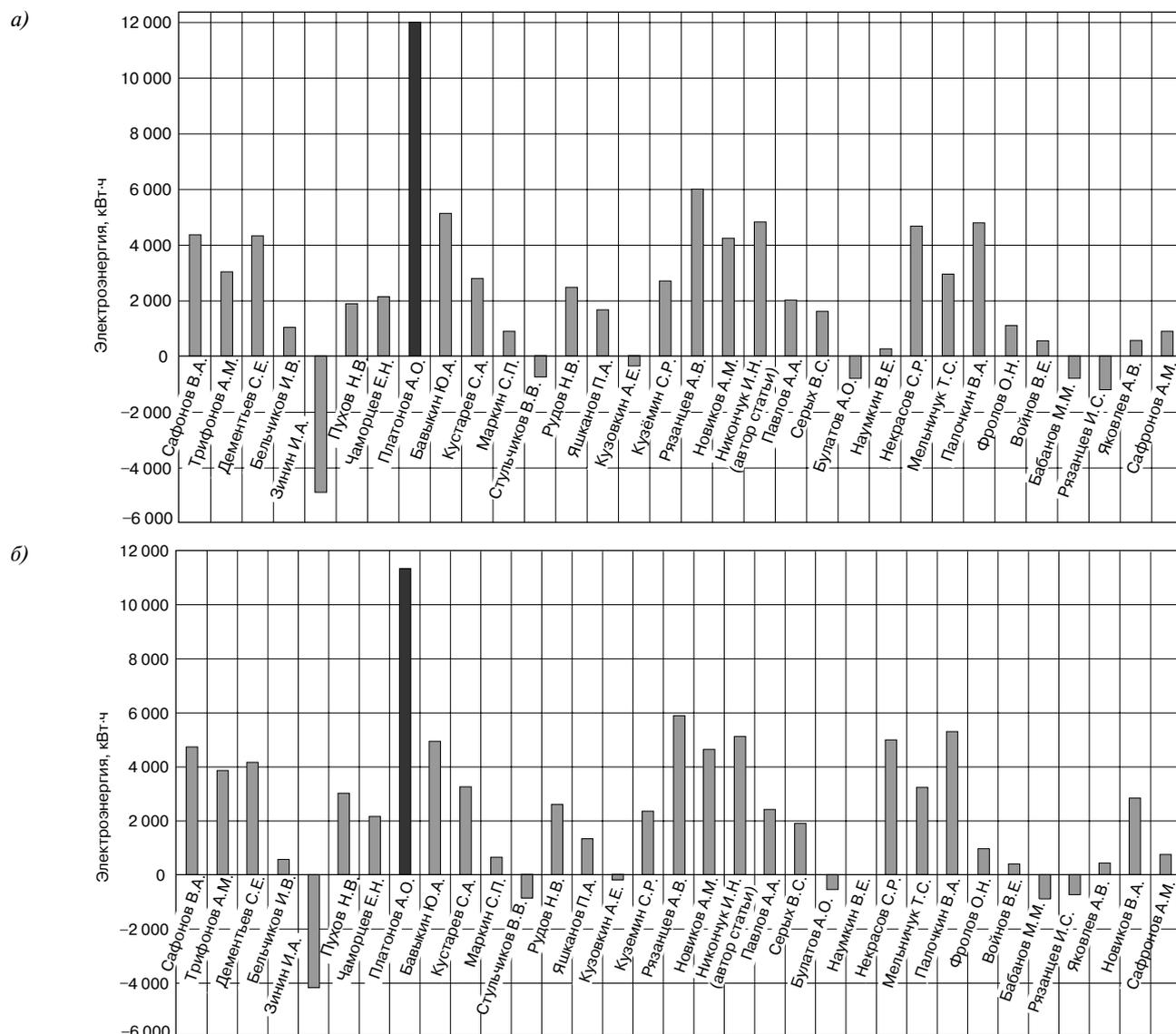


Рис. 6. Экран экономии электроэнергии: а — июль 2013 г.; б — август 2013 г.

Fig. 6. Energy saving screen: a — July 2013; б — August 2013

электроэнергии, затрачиваемое на дополнительные пуски, разгоны и остановки.

Такая картина наблюдается при вождении скоростных пассажирских международных поездов, не имеющих в пути следования графиковых остановок и состав которых сформирован из вагонов РИЦ-200. Подобный опыт имеется на тяговом плече Москва—Вязьма, протяженностью в 243 км, где при максимальной разрешенной скорости 140 км/ч техническая скорость поездов массой 420–780 т (7–13 вагонов) реализуется на уровне 107 км/ч [16]. Эксплуатация показала, что после разгона на «полной схеме» (с использованием в режиме тяги восьми ТЭД) до необходимой скорости движения и последующего отключения секции мощности остающихся в работе четырех ТЭД одной секции электроваза ЧС7 оказывается достаточно для поддержания

необходимой скорости движения поезда по участку с безусловным выполнением графика движения.

**Отключение секции электроваза ЧС7.** Электрической схемой электроваза ЧС7 предусмотрено дистанционное отключение секции электроваза в случае возникновения неисправностей силового оборудования в одной из секций. По мере выпуска электровазов ЧС7, начиная с № 076, переключатель «Отключение секции» дополнен позицией «Разгон СП», которая предназначалась для пуска электроваза с первой позиции СП-соединения ТЭД в случае повреждения линейных или реостатных контакторов, участвующих в работе на С-соединении.

Отключение исправной секции может быть использовано с целью экономии УРЭ на тягу поездов при условии поддержания скорости движения поезда согласно графику. Так, например, в локомотивном

депо им. Ильича, где автор статьи работал в свое время в должности машиниста электровоза, первым, кто применил данный способ, стал машинист 1-го класса А. О. Платонов. Следует отметить, что отключение секции электровоза машинист применял только после разгона поезда до максимальной скорости движения на «полной схеме» (с участием в режиме тяги всех восьми ТЭД электровоза). Другие машинисты таким приемом вождения поездов электровозом ЧС7 не пользовались. Сравнительные данные по УРЭ машинистами в депо им. Ильича за 2 месяца приведены на рис. 6.

Движение пассажирских поездов с отключенной секцией электровоза рационально использовать только после разгона поезда на «полной схеме» электровоза с использованием в режиме тяги всех восьми ТЭД. Только по достижении необходимой скорости движения рекомендуется отключать секцию и продолжать поддержание средней скорости движения на более высоком соединении ТЭД и ступенях ослабления возбуждения. Отключение ТЭД одной секции электровоза следует применять при вождении пассажирских поездов малой и средней массы 420–780 т (7–13 вагонов), а также поездов, состав которых в большинстве сформирован из вагонов без подвагонных осевых генераторов и не имеет на пути следования графиковых остановок.

При вождении поездов массой 840–1020 т (14–16 вагонов) мощности четырех ТЭД, остающихся в работе после разгона на «полной схеме», иногда оказывается недостаточно для поддержания необходимой скорости движения поезда в соответствии с графиком. В этом случае целесообразно использовать предлагаемую модернизированную схему отключения пары ТЭД одной секции (рис. 5, б), при применении которой в режиме тяги остается шесть ТЭД электровоза.

**Способы отключения части ТЭД электровоза ЧС7 для экономии УРЭ.** Как отмечалось выше, отключение секции 8-осного электровоза как в грузовых, так и в пассажирских поездах рационально использовать при вождении поездов средней и малой массы. Однако в целях экономии энергии на тягу более эффективным является 6-осный электровоз. Связано это в первую очередь с меньшим количеством реостатных пусковых позиций, а также с большим напряжением на коллекторах ТЭД 6-осных машин по сравнению с 8-осными на ходовых позициях С- и СП-соединения.

На рис. 7 даны схемы перегруппировки ТЭД 8-осного электровоза ЧС7, на рис. 8 — 6-осных электровозов ЧС2<sup>Т</sup> и ЭП2К. Величины напряжения на коллекторах ТЭД для каждого из соединений рассматриваемых схем электровозов (рис. 3, 4, 5, 7, 8) представлены в таблице. Из таблицы видно, что у электровоза ЧС7 в нормальном режиме работы напряжение на коллекторах ТЭД на С- и СП-соединении соответственно на 125 и 250 В меньше по сравнению с электровозами ЧС2<sup>Т</sup> и ЭП2К. Следовательно, 8-осный электровоз имеет меньшую

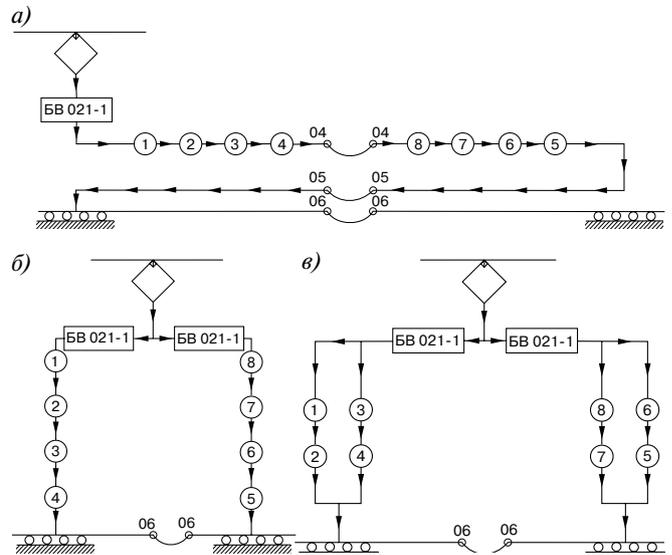


Рис. 7. Схемы перегруппировки ТЭД электровоза ЧС7 в нормальном режиме работы:

а — С-соединение,  $U_{ТЭД} = 375$  В; б — СП-соединение,  $U_{ТЭД} = 750$  В; в — П-соединение,  $U_{ТЭД} = 1500$  В; 1–8 — ТЭД

Fig. 7. Schemes for rearranging TEM of the electric locomotive ChS7 in normal operation:

а — C-connection,  $U_{TEM} = 375$  V; б — СП-connection,  $U_{TEM} = 750$  V; в — P-connection,  $U_{TEM} = 1500$  V; 1–8 — TEM

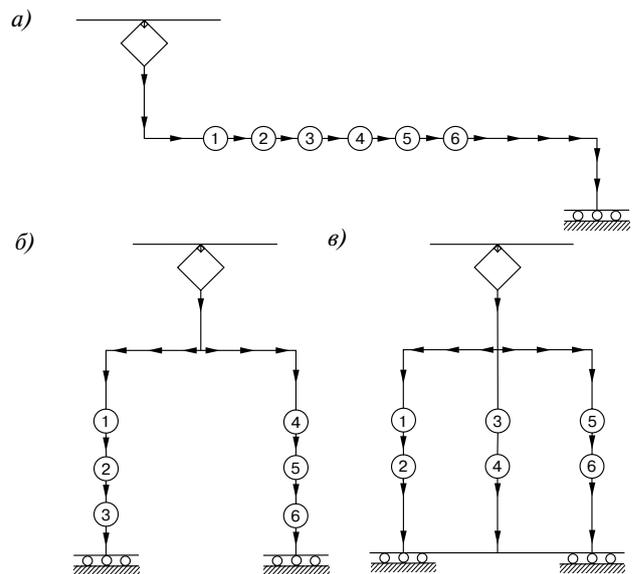


Рис. 8. Схемы перегруппировки ТЭД электровозов ЧС2<sup>Т</sup> и ЭП2К в нормальном режиме работы: а — С-соединение,  $U_{ТЭД} = 500$  В; б — СП-соединение,  $U_{ТЭД} = 1000$  В; в — П-соединение,  $U_{ТЭД} = 1500$  В; 1–6 — ТЭД

Fig. 8. Schemes of rearranging TEM of electric locomotives ChS2<sup>T</sup> and EP2K in normal operation: а — C-connection,  $U_{TEM} = 500$  V; б — СП-connection,  $U_{TEM} = 1000$  V; в — П-connection,  $U_{TEM} = 1500$  V; 1–6 — TEM

скорость движения на ходовых позициях С- и СП-соединения по сравнению с 6-осным.

На рис. 3 приведена силовая схема работы электровоза ЧС7 при отключении одной из секций. Здесь работа

Величины напряжения (В) на коллекторах ТЭД для каждого из соединений рассматриваемых схем электровозов (рис. 3, 4, 5, 7, 8)

Voltage values (V) on the TEM collectors for each of the connections of the considered electric locomotive schemes (fig. 3, 4, 5, 7, 8)

Наименование соединения	ЧС7 в нормальном режиме работы (рис. 7)	ЧС2 <sup>Т</sup> и ЭП2К в нормальном режиме работы (рис. 8)	ЧС7 при отключении секции (рис. 3)	ЧС7 при отключении пары ТЭД в заводской схеме (рис. 4)	ЧС7 при отключении пары ТЭД после модернизации (рис. 5)
С-соединение	375	500	750	500	500
СП-соединение	750	1000	750	750*	1000
П-соединение	1500	1500	1500	1500	1500

\* В тяге на СП-соединении участвуют только четыре ТЭД.

электровоза на С- и СП-соединении при равном напряжении на ходовых позициях отличается вдвое меньшим значением пускового сопротивления (на рисунке не показано), вводимого при переходе на реостатные позиции СП-соединения, по сравнению с С-соединением.

Рис. 4 показывает работу силовой схемы при отключении пары ТЭД электровоза, реализованной заводом-изготовителем, рис. 5 — работу силовой схемы после проведения предложенной модернизации. Сравнивая работу силовой схемы электровоза до и после проведения модернизации (рис. 4, б и 5, б), мы видим, что в результате модернизации на СП-соединении (при отключенной паре ТЭД) напряжение на коллекторах ТЭД удалось повысить до 1000 В (см. таблицу), а также в режиме тяги участвуют уже шесть ТЭД (вместо четырех при заводской схеме), что значительно увеличивает силу тяги и скорость электровоза в данном режиме.

Дополнительные резервы по экономии УРЭ достигаются регулировкой производительности мотор-вентиляторов (МВ) охлаждения ТЭД. Во избежание перегрева коллектора отключенных по силовой части ТЭД из-за трения щеток без нагрузки требуется поддерживать их вентиляцию. В связи с ростом нагрузки оставшихся в работе ТЭД следует точно определить производительность МВ, необходимую для исключения перегрева их обмоток.

На электровозе ЧС7 штатно имеются две ступени частоты вращения электродвигателей МВ, которые регулируются соответствующим положением расположенного на пульте машиниста переключателя «Вентиляторы»: «НС» (низкая скорость) или «ВС» (высокая скорость). При включении в положение «ВС» электрической схемой формируются две ветви по два последовательно соединенных электродвигателя МВ с питающим напряжением на коллекторе 1500 В. В положении «НС» все электродвигатели МВ соединяются последовательно, и напряжение на их коллекторах составляет 750 В. Питание всех четырех электродвигателей МВ электровоза напрямую осуществляется от первого быстродействующего выключателя (БВ-1) и никак не зависит от положения выключателя секции. То есть

при отключении по силовой схеме ТЭД любой из секций их охлаждение сохраняется с выбранной частотой вращения электродвигателей МВ.

Снижение частоты вращения электродвигателей МВ в 2 раза приводит к уменьшению потребляемой ими мощности в 4 раза. Следовательно, в режиме низкой производительности, равной  $\frac{1}{2}$  от номинальной, их общая мощность снижается с 36 кВт (номинальный режим работы) до 9 кВт. Соответственно, снижается и УРЭ на собственные нужды, который в этом случае составит 1,5–1,8 % от общего расхода на тягу вместо 6–7 % при номинальном режиме работы электродвигателей МВ.

Сравнительный анализ УРЭ электровозов ЧС7 и ЭП2К с различными массами поездов показывает преимущества электровоза ЭП2К при вождении поездов средней массы 840 т (14 вагонов и менее) на участках с легким профилем пути и относительно невысокой средней скоростью движения. На участках пути с тяжелым профилем для вождения поездов, масса которых более 840 т, а также скоростных поездов предпочтительнее использовать электровозы серии ЧС7.

При вождении поездов, масса которых составляет около  $\frac{3}{4}$  от максимально установленной на участке, предложенный автором вариант модернизации силовой схемы электровоза ЧС7 позволит иметь возможность оперативного отключения пары ТЭД с рациональной схемой их перегруппировки, в результате чего планируемый показатель УРЭ может сократиться на величину до 15 %. В случае снижения массы состава от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{4}$  целесообразно использовать отключенные секции (четыре) ТЭД, при этом показатель УРЭ может быть снижен до 25 %.

**Выводы.** 1. Вождение средних (600–840 т) и легких (360–480 т) пассажирских поездов 8-осными электровозами постоянного тока с использованием в режиме тяги восьми ТЭД приводит к недоиспользованию их мощности и повышенному расходу электроэнергии по сравнению с 6-осными электровозами с КТП.

2. Заводская схема электровоза ЧС7 предусматривает без потери мощности отключение четырех ТЭД (одной

из секций электровоза). Предложен проект модернизации силовой схемы электровоза, предусматривающий возможность работы как в составе восьми, четырех, так и шести ТЭД с рациональной схемой их перегруппировки.

3. Ожидаемая экономия УРЭ при работе 8-осного электровоза с пассажирскими поездами средней и малой массы на шести или четырех ТЭД может достигать соответственно 15 или 25 % по сравнению с его работой с данными поездами в штатном режиме (постоянном использовании в режиме тяги восьми ТЭД).

4. Для вождения скоростных поездов, курсирующих со скоростью до 140 км/ч, а также на участках с тяжелым профилем пути и массой состава более 840 т (14 вагонов) целесообразно использовать электровозы ЧС7. Электровозы ЭП2К следует использовать для вождения пассажирских поездов, максимальная скорость которых не превышает 120 км/ч, на участках с легким профилем пути и массой состава не более 1080 т (18 вагонов).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О нумерации поездов для графика движения [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 5 апр. 2014 г. № 859р. URL: <https://jd-doc.ru/2014/aprel-2014/13502-rasporyazhenie-ooo-rzhd-ot-05-04-2014-n-859r> (дата обращения: 15.02.2019 г.).
2. Режимы работы магистральных электровозов / О. А. Некрасов [и др.]; под. ред. О. А. Некрасова. М.: Транспорт, 1983. С. 174.
3. Служебное расписание движения пассажирских поездов с 8 дек. 2019 г. / Московская железная дорога — филиал ОАО «РЖД». М., 2019.
4. Lokomotivy rady ES 499.0/350 / J. Pernicka [et al.]. Praha: Hart Press, 2005. S. 216.
5. ГОСТ Р 55364–2012. Электровозы. Общие технические требования: нац. стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 дек. 2012 г. № 1916-ст: дата введения 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2013. С. 35.
6. Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года [Электронный ресурс]. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=4043#6007](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=4043#6007) (дата обращения: 15.02.2019 г.).

7. Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года: утв. распоряжением Правительства РФ от 22 нояб. 2008 г. № 1734р [Электронный ресурс]. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460> (дата обращения: 15.02.2019 г.).

8. Валинский О. С. Повышая эффективность управления локомотивным комплексом // Локомотив. 2017. № 1. С. 3–6.

9. Анализ научных подходов к повышению эффективности использования грузовых электровозов / А. В. Заручейский [и др.] // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2014. № 1. С. 37–41.

10. Анализ затрат электроэнергии на тягу электровозами со схемой дистанционного отключения части двигателей / Г. Я. Класен [и др.] // Исследование работы электрооборудования и вопросы прочности электроподвижного состава: науч. тр. / Омский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Омск: ОмИИТ, 1974. Т. 163. С. 45–51.

11. Сенаторов В. А. Отключение части тяговых электродвигателей электровоза с целью экономии электроэнергии на тягу при ведении легковесного поезда // Вестник ВНИИЖТ. 2003. № 1. С. 15–19.

12. Медлин Р. Я., Рождественский С. М., Усманов Ю. А. Экономия энергии при отключении части тяговых двигателей на электровозах постоянного тока и методика ее определения // Исследование работы электрооборудования и вопросы прочности электроподвижного состава: науч. тр. / Омский ин-т инженеров ж.-д. транспорта. Омск, 1974. Т. 163. С. 33–44.

13. И все же двигатели отключать не следует / П. И. Борцов [и др.] // Электрическая и тепловозная тяга. 1978. № 10. С. 35–37.

14. Калинин Ю. С., Исаев А. В. Как создавался первый в мире автомашинист // Локотранс. 2013. № 3. С. 26–37, 43–46.

15. Правила тяговых расчетов для поездной работы. М.: Транспорт, 1985. 288 с.

16. Борисенков С. С. Обоснование параметров режимов движения скоростных пассажирских поездов с минимизацией энергозатрат при локальных ограничениях скорости: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М., 2013. 154 с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**НИКОНЧУК Иван Николаевич**, аспирант, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 14.03.2019 г., актуализирована 13.06.2020 г. принята к публикации 21.09.2020 г.

**Для цитирования:** Никончук И. Н. К вопросу повышения эксплуатационной энергетической эффективности работы восьмиосных пассажирских электровозов постоянного тока // Вестник ВНИИЖТ. 2020. Т. 79. № 6. С. 373–382. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-373-382>.

## On the issue of increasing operational energy efficiency of eight-axle passenger DC electric locomotives

I. N. NIKONCHUK

Joint Stock Company "Railway Research Institute" (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

**Abstract.** Mass of a passenger train and, accordingly, number of cars in its composition is selected based on the amount of passenger traffic on the section, determined by the seasonal demand for transportation in each direction. In one direction of the section serviced by an electric locomotive, the mass of a passenger train may differ several times from the opposite direction, which depends on the destination station of the train and the period of its circulation.

At present, in addition to 6-axle electric locomotives of the ChS2T and EP2K series, more powerful 8-axle electric locomotives of the ChS7 series operate in the same schedule for traction of passenger trains on railway sections electrified with direct current with a voltage of 3 kV catenary. All three series of the considered electric locomotives are designed for a maximum operating speed of up to 160 km/h. In this regard, there is a situation with the underutilization of the maximum speed and excess power of the ChS7 electric

locomotives, especially when operating with passenger trains of medium and low weight and a limited speed of 120 km/h.

The comparative data on the specific power consumption of the EP2K 6-axle electric locomotives and the ChS7 8-axle electric locomotives operating in the same schedule, presented in the article, indicate the need to find additional reserves for saving the specific power consumption when servicing passenger trains of medium and low weight with ChS7 electric locomotives.

The electric locomotive power system includes traction and auxiliary electric machines. The article discusses ways to turn off part of traction motors, which can be carried out with a standard electric locomotive circuit. However, when one section of the electric locomotive is turned off, the power of the four traction motors remaining in operation is not always sufficient to drive a passenger train according to the schedule. Therefore, a variant of improving the power circuit of an electric locomotive in the process of carrying out its overhaul is proposed. This option represents the modernization of the power circuit of the ChS7 electric locomotive when operating on a series-parallel connection with a pair of traction motors disconnected. As a result, the power circuit of the 8-axle electric locomotive operates similarly to the circuit of 6-axle DC electric locomotives with a collector traction drive. The expected savings in specific power consumption can reach 15% in comparison with the operation of an 8-axle electric locomotive ChS7 in normal mode. Switching off one section of the electric locomotive and further running the train on four traction electric motors will reduce the specific power consumption by up to 25%.

**Keywords:** electric locomotive; collector traction motors; power circuit; energy consumption; disconnecting part of the traction motors; kinetic energy of train motion; train mass

**DOI:** <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-373-382>

## REFERENCES

1. *On the numbering of trains for the timetable*. Order of the JSC "Russian Railways" dated April 5, 2014, No. 859r. URL: <https://jd-doc.ru/2014/aprel-2014/13502-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-05-04-2014-n-859r> (retrieved on 15.02.2019) (in Russ.).
2. Nekrasov O. A., Lisitsyn A. L., Muginshteyn L. A., Rakhmaninov V. I. *Rezhimy raboty magistral'nykh elektrovozov* [Operating modes of mainline electric locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1983, p. 174.
3. *Service timetable for passenger trains from December 8<sup>th</sup>, 2019*. Moscow Railway — branch of the JSC "Russian Railways", Moscow, 2019 (in Russ.).
4. Pernicka J., Kuchta T., Zapletal S., Kukucik P., Dujnic M., Flandera F. *Lokomotivy rady ES 499.0/350*. Praha, Hart Press, 2005, p. 216 (in Czech).
5. GOST R 55364–2012. *Electric locomotives. General technical requirements*. National standard of the Russian Federation. Approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated December 19, 2012 No. 1916-st. Moscow, Standartinform Publ., 2013, p. 35 (in Russ.).
6. *Energy strategy of the JSC "Russian Railways" for the period until 2010 and for the future until 2030*. URL: [http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE\\_ID=704&layer\\_id=5104&id=4043#6007](http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=4043#6007) (retrieved on 15.02.2019) (in Russ.).
7. *Transport strategy of the Russian Federation for the period up to 2030*. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated November 22, 2008 No. 1734r. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/94460> (retrieved on 15.02.2019) (in Russ.).

■ E-mail: [nikonchukivan1985@gmail.com](mailto:nikonchukivan1985@gmail.com) (I. N. Nikonchuk)

8. Valinskiy O. S. *Povyshaya effektivnost' upravleniya lokomotivnym kompleksom* [Increasing the efficiency of management of the locomotive complex]. Lokomotiv, 2017, no. 1, pp. 3–6.

9. Zarucheskii A. V., Murzin R. V., Kuchumov V. A., Nikiforova N. B. *Analiz nauchnykh podkhodov k povysheniyu effektivnosti ispol'zovaniya gruzovykh elektrovozov* [Analysis of scientific approaches to increasing the efficiency of the use of freight electric locomotives]. Byulleten' Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZHD" [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC "Russian Railways"], 2014, no. 1, pp. 37–41.

10. Klassen G. Ya., Medlin R. Ya., Rozhdestvenskiy S. M., Usmanov Yu. A. *Analiz zatrat elektroenergii na tyagu elektrovozami so skhemoy distantsionnogo otklyucheniya chasti dvigateley* [Analysis of electricity consumption for traction by electric locomotives with a scheme for remote shutdown of part of the engines]. Issledovanie raboty elektrooborudovaniya i voprosy prochnosti elektropodvizhnogo sostava: nauch. tr. [Research of the operation of electrical equipment and issues of strength of electric rolling stock: scientific works]. Omskiy in-t inzhenerov zh.-d. transporta [Omsk Institute of Railway Engineers]. Omsk, OmlIT Publ., 1974, Vol. 163, pp. 45–51.

11. Senatorov V. A. *Otklyuchenie chasti tyagovykh elektrodvigateley elektrovoza s tsel'yu ekonomii elektroenergii na tyagu pri vedenii legkovesnogo poezda* [Disconnecting part of the traction electric motors of an electric locomotive in order to save electricity for traction when driving a lightweight train]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2003, no. 1, pp. 15–19.

12. Medlin R. Ya., Rozhdestvenskiy S. M., Usmanov Yu. A. *Ekonomiya energii pri otklyuchenii chasti tyagovykh dvigateley na elektrovozhakh postoyannogo toka i metodika ee opredeleniya* [Energy saving when part of traction motors on direct current electric locomotives is turned off and the method of its determination]. Issledovanie raboty elektrooborudovaniya i voprosy prochnosti elektropodvizhnogo sostava: nauch. tr. [Research of the operation of electrical equipment and issues of strength of electric rolling stock: scientific works]. Omskiy in-t inzhenerov zh.-d. transporta [Omsk Institute of Railway Engineers]. Omsk, 1974, Vol. 163, pp. 33–44.

13. Bortsov P. I., Dubrovskiy Z. N., Kurbasov A. S., Bystritskiy Kh. Ya. *I vse zhe dvigateli otklyuchat' ne sleduet* [And yet the engines should not be turned off]. Elektricheskaya i teplovoznaya tyaga, 1978, no. 10, pp. 35–37.

14. Kalinin Yu. S., Isaev A. V. *Kak sozdavalsya pervyy v mire avtomashinist* [How the world's first car driver was created]. Lokotrans, 2013, no. 3, pp. 26–37, 43–46.

15. *Rules for traction calculations for train operation*. Moscow, Transport Publ., 1985, 288 p. (in Russ.).

16. Borisenkov S. S. *Obosnovanie parametrov rezhimov dvizheniya skorostnykh passazhirskikh poezdov s minimizatsiey energozatrat pri lokal'nykh ogranicheniyakh skorosti. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Substantiation of the parameters of the modes of high-speed passenger trains motion with minimization of energy consumption at local speed limits. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2013, 154 p.

## ABOUT THE AUTHOR

**Ivan N. NIKONCHUK**,  
Postgraduate, JSC "VNIIZHT"

Received 14.03.2019

Revised 13.06.2020

Accepted 21.09.2020

**For citation:** Nikonchuk I. N. On the issue of increasing operational energy efficiency of eight-axle passenger DC electric locomotives // VNIIZHT Scientific Journal. 2020. 79 (6): 373–382 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-6-373-382>.