

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Наземные транспортно-логистические средства и комплексы

УДК [UDC] 629.423.1

DOI 10.17816/transsyst20239164-82

© **К.И. Доманов, К.В. Богунов**

Омский государственный университет путей сообщения

(Омск, Россия)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ЗЭС6 НА УРАЛО-СИБИРСКОМ ПОЛИГОНЕ

Обоснование: развитая экономика требует соответствующего уровня развития транспортной системы, она составляет важную основу для концентрации и специализации производства. Следовательно, общее развитие регионов и страны в целом требует развития и модернизации транспортной системы, что оказывает непосредственное влияние на социально-экономическое развитие. В связи с этим для решения задач, связанных с повышением эффективности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте необходимо внедрять усовершенствованные тяговые ресурсы. В настоящее время в компании ОАО «РЖД» ведется активная работа по обновлению корпоративного локомотивного парка и решается вопрос внедрения тягового электрического подвижного состава повышенной мощности, за счет применения бустерных секции электровозов, для вождения поездов повышенной массы и длины на стратегически важных железнодорожных участках России интегрированных в международные транспортные коридоры.

Цель: разработать имитационную модель эксплуатации электровозов ЗЭС6 с бустерной секцией на участках Урало-Сибирского полигона, провести оценку готовности транспортной инфраструктуры при использовании исследуемых локомотивов в поездной работе, определить наиболее подходящие тяговые плечи для эксплуатационной работы таких электровозов.

Материалы и методы: для получения результатов используются тяговые характеристики рассматриваемых локомотивов, данные анализа тяговых плеч эксплуатации и транспортной инфраструктуры с использованием навигационной системы Yandex Maps, а также российское программное обеспечение E2 для создания графическо-физических 3D моделей с последующим имитационным моделированием, реализованного в программных комплексах Substance Painter и 3Ds max.

Результаты: представлен анализ участков эксплуатации исследуемых локомотивов с указанием достоинств и недостатков использования в перевозочном процессе электровозов ЗЭС6, разработана имитационная модель взаимодействия объектов инфраструктуры и локомотивного парка, определена перспектива дальнейших исследований в части проведения расчетов технико-экономического обоснования замены парка локомотивов устаревших серий.

Заключение: полученные результаты исследования можно использовать при организации эксплуатационной работы и технического обслуживания локомотивов ЗЭС6 с бустерными секциями для совершенствования технологии эксплуатации корпоративного локомотивного парка при полигонной структуре управления перевозочным процессом.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, тяговый электрический подвижной состав, 2ЭС6, 3ЭС6, Урало-Сибирский полигон, эксплуатация локомотивного парка, графическо-физическое программное обеспечение E2.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field – Ground transport and logistics facilities and complexes

© **Kirill I. Domanov, Kirill V. Bogunov.**

Omsk State Transport University

(Omsk, Russia)

OPERATING EFFICIENCY OF 3ES6 ELECTRIC LOCOMOTIVES AT THE URAL-SIBERIAN POLYGON

Background: developed economy requires an appropriate level of development of the transport system, it forms an important basis for the concentration and specialization of production. Consequently, the overall development of the regions and the country as a whole requires the development and modernization of the transport system, which has a direct impact on socio-economic development. In this regard, in order to solve the problems associated with increasing the efficiency of the transportation process in railway transport, it is necessary to introduce improved traction resources. Currently, Russian Railways is actively working to upgrade the corporate locomotive fleet and is addressing the issue of introducing high-capacity electric traction rolling stock, through the use of booster sections of electric locomotives, to drive trains of increased mass and length on strategically important railway sections of Russia integrated into international transport corridors.

Aim: to develop a simulation model for the operation of 3ES6 electric locomotives with a booster section in the areas of the Ural-Siberian test site, to assess the readiness of the transport infrastructure when using the studied locomotives in train operation, to determine the most suitable traction arms for the operational operation of such electric locomotives.

Materials and Methods: to obtain the results, the traction characteristics of the locomotives under consideration, data from the analysis of the traction arms of operation and transport infrastructure using the Yandex Maps navigation system, as well as Russian E2 software for creating graphic-physical 3D models with subsequent simulation, implemented in the Substance Painter and 3Ds software systems, are used max.

Results: an analysis of the areas of operation of the studied locomotives is presented, indicating the advantages and disadvantages of using 3ES6 electric locomotives in the transportation process, a simulation model of the interaction of infrastructure facilities and the locomotive fleet is developed, the prospect of further research is determined in terms of carrying out calculations of a feasibility study for replacing the fleet of obsolete series locomotives.

Conclusion: the obtained results of the study can be used in the organization of operational work and maintenance of 3ES6 locomotives with booster sections to improve the technology of operating a corporate locomotive fleet with a polygon structure for managing the transportation process.

Key words: Simulation modeling, traction electric rolling stock, 2ES6, 3ES6, Ural-Siberian test site, locomotive fleet operation, E2 graphic-physical software.

ВВЕДЕНИЕ

Магистральный грузовой электровоз серии ЭС6 «Синара», выпускаемый на передовом предприятии транспортного машиностроения «Уральские локомотивы», заменяет по всей сети железных дорог России, устаревшие электровозы ВЛ10в/и и ВЛ11в/и. «Синара» – это передовой, отвечающий современным вызовам электровоз, работающие на постоянном токе и имеющие коллекторный тяговый привод. Обновленные локомотивы серии ЭС6 в настоящее время выпускается как в двухсекционном исполнении, так и в трех- и четырехсекционном – с дополнением для увеличения мощности, в виде одной или двух бустерных секции соответственно. Также у данных электровозов продлено действие сертификата соответствия ТР ТС на локомотив серии 2ЭС6 «Синара». Все разрешающие документы и сертификаты будут действовать до августа 2026 года включительно [1].

Тяговые испытания Синары с бустерными секциями проводились весной 2021 года на испытательном пути завода «Уральские локомотивы». А сертификационные и приемочные испытания проводились с середины июня по конец августа 2021 года уже непосредственно на экспериментальном кольце ВНИИЖТ г. Щербинка. Затем после итогового заседания межведомственная комиссия подтвердила возможность серийного изготовления на заводе «Уральские локомотивы» электровозов модификации 3ЭС6 и 4ЭС6 [2].

Ввиду сегодняшних реалий по перераспределению грузовых потоков и переориентация транспортных коридоров в Азию, вопрос обновления устаревающего парка на стратегически важных железнодорожных полигонах становится наиболее актуальным [3, 4]. Одним из таких полигонов является Среднесибирский ход, проходящий по территории Республики Казахстан, имеющий сложный профиль пути, по которому, в основном, перевозится каменный уголь.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА ТРЕХ- И ЧЕТЫРЕХСЕКЦИОННЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕРИИ ЭС6

Сертификация ЭС6 как в трех- так и четырех-секционном исполнении открывает новые возможности и перспективы для применения данного электровоза при организации движения с поездами повышенной длины и массы. Применение одной такой бустерной секции электровоза позволяет ему водить поезда весом до 8 тысяч тонн со сложным профилем пути более 9 ‰, а с двумя бустерами он может провести состав весом уже 12,5 тысяч тонн с условием применения системы распределения управления тормозами, а именно применение БХВ СУТП», тогда как

двухсекционный электровоз 2ЭС6 способен вести поезд массой 8 тысяч тонн на участках с равнинным профилем пути (до 6 ‰) и поезд массой 5 тысяч тонн на участках с горным профилем (до 10 ‰) [5].

На сегодняшний день завод «Уральские локомотивы» выпустил уже 1284 электровоза 2ЭС6, из них 20 электровозов уже зарегистрированы как 3ЭС6 и 58 электровозов 2ЭС6 приписки депо ТЧЭ-12 Тайга преобразованы в 3-секционный вариант путем добавления бустерной секции электровоза [2].

В локомотивное депо Пермь-Сортировочная Свердловской железной дороги на данный момент уже поступили 9 таких электровозов как 3ЭС6 «Синара» повышенной мощности (с дополнительной бустерной секцией).

Новые машины уже начали заменять электровозы предыдущих серий и водят грузовые поезда с увеличенным весом на главном ходу Транссибирской магистрали, в том числе по участкам со сложным профилем пути в горах Урала.

Свердловская железная дорога стремительно пополняет парк магистральных электровозов с учетом актуальных производственных задач, технологий перевозочного процесса и тяжелых условий эксплуатации. Так, базовые двухсекционные «Синары» на сложных горно-перевальных участках с затяжными подъемами водят грузовые поезда весом 5,1 тысячи тонн, электровозы серии 2ЭС10 «Гранит» – составы «стандартной» весовой нормы 6,3 тысячи тонн. Стоит также отметить, что 2ЭС10 «Гранит» также обладает теми самыми бустерными секциями, однако сохраняет на данный момент название 2ЭС10, история сложилась также как у машин 2ЭС6 в Тайге. Для вождения тяжеловесных поездов (8 тыс. и 9 тыс. тонн) на «главном ходу» – Транссибирской магистрали используют трехсекционные ЭС10 «Граниты». Локомотивы 3ЭС6 занимают промежуточную нишу и водят поезда весом свыше 7 тыс. т [5].

Использование электровозов новой модификации позволяет снизить эксплуатационные расходы за счет повышенной энергоэффективности, увеличения межсервисных пробегов и сокращения внеплановых ремонтов. Гарантийное обслуживание новых машин будут осуществлять специалисты сервисной компании завода-изготовителя, а именно СТМ-сервис на базе депо Пермь-Сортировочная.

По заявлению самого СТМ-сервиса [6] компания уже освоила новый вид ремонта электровозов 3ЭС6 он будет осуществляться в сервисном локомотивном депо «Пермь-Сортировочная». В компетенции депо входит обслуживание локомотивов данной серии в объеме ТР-30 и техническое обслуживание ТО-2.

Для освоения ремонта локомотивов серии 3ЭС6 на базе сервисного локомотивного депо «Пермь-Сортировочная» проводились работы по обучению персонала, дооснащению участков депо технологическим и стендовым оборудованием, укомплектованию необходимым

инструментом, а также модернизации существующих систем экипировки и ремонтных эстакад депо.

На сегодняшний день в парке депо «Пермь-Сортировочная» 288 секций электровозов серии ВЛ11 и ВЛ11М, что составляет 96,8 % и 9 единиц ЗЭС6 – 3,2 % от общего парка локомотивов компании (Рис.1).

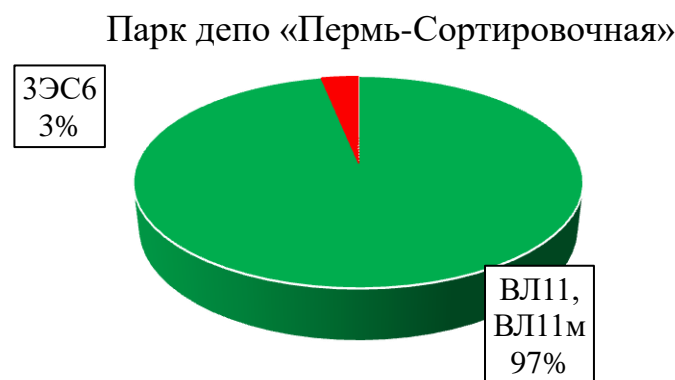


Рис. 1. Круговая диаграмма локомотивного парка депо «Пермь-Сортировочная»

Электровозы ЗЭС6 превосходят электровозы серии ВЛ10 и ВЛ11 различных модификации по целому ряду параметров. В частности:

- по мощности часового режима на 31,8 %;
- по силе тяги часового режима на 32,3 %;
- по мощности продолжительного режима на 40,4 %;
- по силе тяги продолжительного режима на 49 %;
- по мощности рекуперативного тормоза на 32,9 %.

Анализ и сравнение тяговых характеристик электровозов 2ЭС6 и ЗЭС6, приведены в (Табл. 1) [1].

Таблица 1. Технические данные двух- и трех-секционного электровоза серии ЭС6

Технические данные	2ЭС6	ЗЭС6
Сила тяги при трогании с места	72 тс	108 тс
Часовая мощность ТЭД	6440 кВт	9660 кВт
Сила тяги часового режима	47,3 тс	70,95 тс
Длительная мощность ТЭД	6000 кВт	9000 кВт
Сила тяги длительного режима	42,6 тс	63,9 тс
Сцепной вес	200 т	300 т
Мощность рекуперативного торможения	6600 кВт	8250 кВт
Мощность тормозных реостатов	5500 кВт	8250 кВт

Анализируя сравнение технических данных можно сделать вывод, что мощность трехсекционного электровоза серии ЭС6 в 1,5 раза выше, чем у локомотива в двухсекционном исполнении.

В целом бустерная секция электровоза имеет то же самое электрооборудование и конструкцию экипажной части, что и головная, и отличается от нее главным образом отсутствием кабины управления, а также наличием второй торцевой стены с межсекционным переходом вместо неё. Это обеспечивает удобство при работе по сравнению со сцепом ЭС6+2ЭС6 из трёх головных секций, позволяя локомотивной бригаде переходить между всеми секциями в процессе движения, что позволяет осматривать всё оборудование и выявлять возможные неисправности без необходимости остановки поезда. Масса 100 тонн и длина 17 метров бустерной секции такая же, как и у головной.

АНАЛИЗ ТЯГОВЫХ ПЛЕЧ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время электровозы 3ЭС6 используются на участках со сложным профилем пути. Сравнивая профиль железнодорожных участков Урало-Сибирского полигона: Березники – Пальники Свердловской железной дороги (Рис. 2) и Тайга – Томск1 Западно-Сибирской железной дороги (Рис. 3) с профилем пути железнодорожного участка Петропавловск – Кондратовка Южно-Уральской железной дороги (Рис. 4) можно констатировать о значительной разнице технических условий эксплуатации. А именно: подъемы и спуски на участке Березники – Пальники и Тайга – Томск1 достигают 15 ‰ и более. Участок обладает затяжными подъемами и спусками с множеством кривых в отличие от участка Петропавловск – Омск, где подъемы и спуски не превышают значения в 5 ‰ [7].

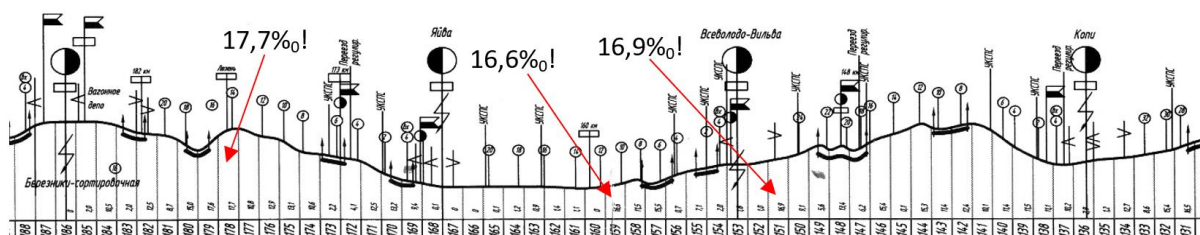


Рис. 2. Профиль пути участка Березники – Пальники
Свердловская железная дорога

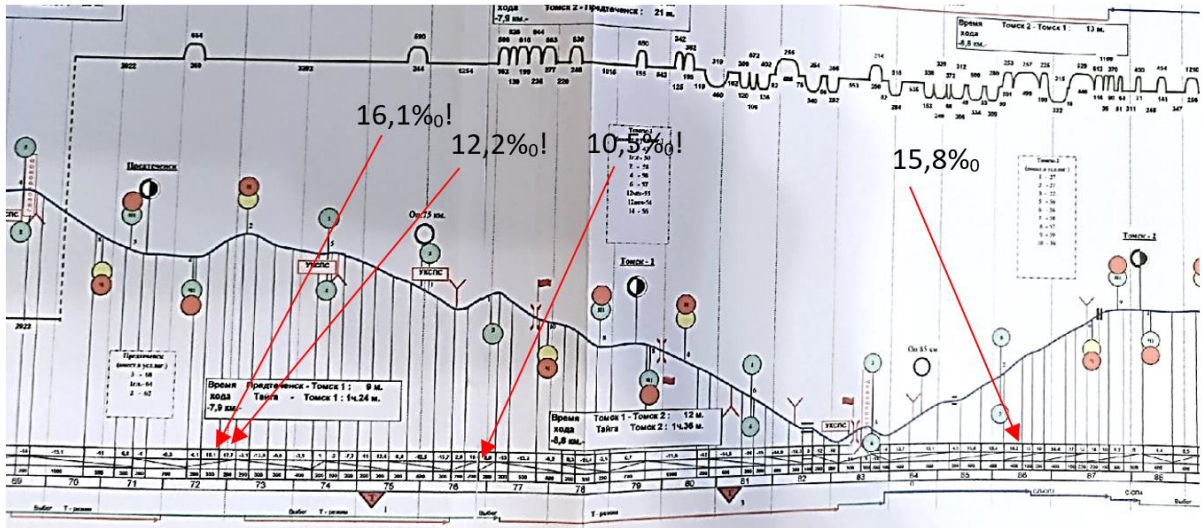


Рис. 3. Профиль пути на участке Тайга – Томск1

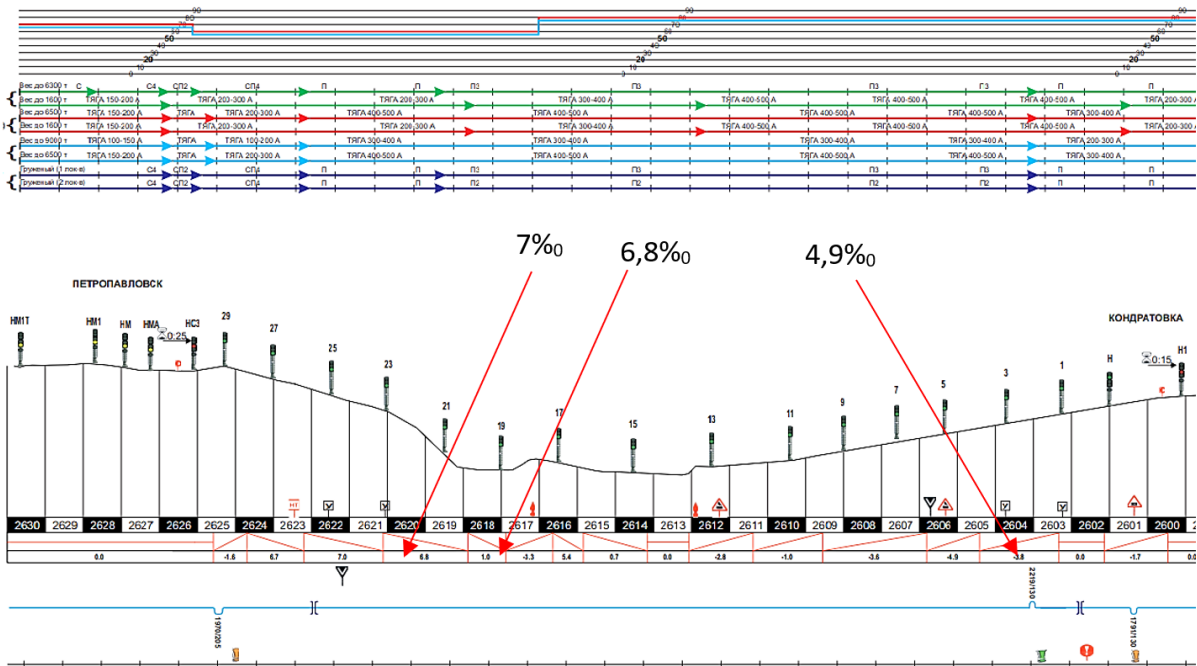


Рис. 4. Профиль пути на перегоне Петропавловск – Кондратовка

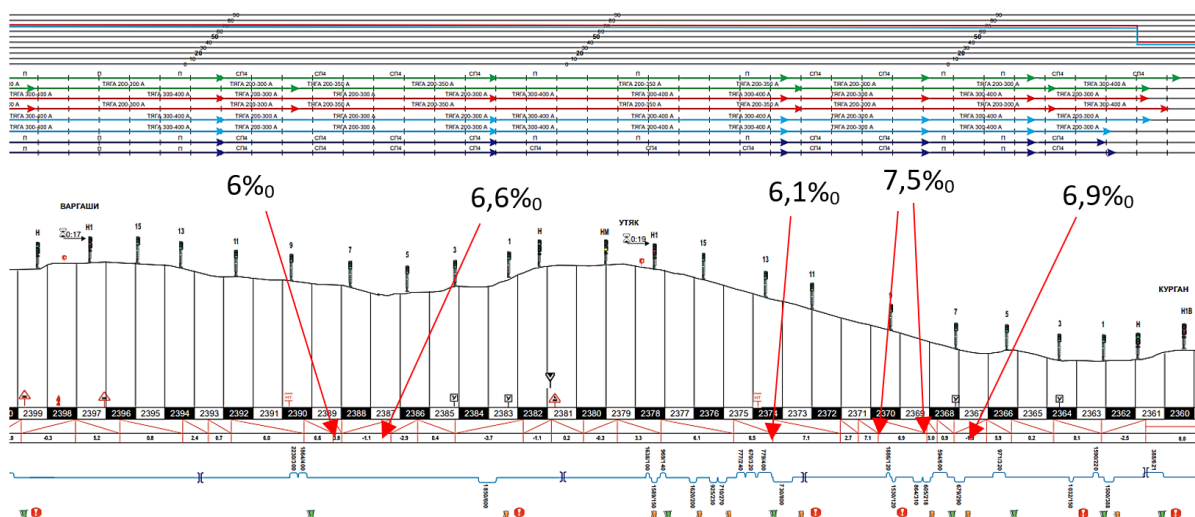


Рис. 5. Профиль пути на перегонах Варгаши – Утык – Курган

Из анализа профиля пути тяговых плеч Урало-Сибирского железнодорожного полигона можно сделать вывод, что наиболее оптимальным, для использования электровоза ЗЭС6, является западное тяговое плечо локомотивного депо Петропавловск. Тяговое плечо Варгаши – Утык – Курган (Рис. 5) обладающее затяжными подъемами и спусками более 5 % с множеством кривых в отличие все от того же тягового плеча Петропавловск – Омск [8].

Оценивая достоинства и недостатки внедрения в эксплуатацию на участках Среднесибирского хода Урало-Сибирского железнодорожного полигона электровозов ЗЭС6, можно сделать следующие выводы:

Достоинства

- увеличение количества перевозимого груза;
- перспектива удлинение тяговых плеч;
- возможность вождения тяжеловесных поездов более 8 тыс. тонн без применения системы многих единиц;
- экономия электроэнергии благодаря меньшему потреблению электрической энергии тяговыми двигателями при трогании и разгоне;
- экономия и сбережение срока службы тяговых электродвигателей и электровоза в целом, т.к. уменьшается нагрузка на ТЭД при движении с тяжеловесным составом;
- наиболее эффективная работа рекуперации;
- нерасцепные секции что увеличивает безопасность движения, в том плане что локомотивная бригада может перемещаться по всем секциям электровоза, в отличие от электровозов в системе многих единиц. Также не забыта катастрофа на перегоне Ерал – Симская летом 2011 года, когда локомотивная бригада отправилась с

перекрытыми тормозными рукавами между локомотивами по системе многих единиц (СМЕ) [9]. В электровозе 3ЭС6 такой фактор исключен, так как электровоз един и не расцепляется.

Недостатки

- уменьшение занятости локомотивных бригад из-за исключения сдвоенных поездов по перспективе замены сдвоенных поездов движущихся по системе автоматического ведения поезда (САВП), один электровоз 3ЭС6 место двух электровозов 2ЭС6;
- не использование полной мощности электровоза 3ЭС6 на участках Урало-Сибирского железнодорожного полигона с умеренным профилем пути. Особенно можно выделить участок Омск – Петропавловск, как показал анализ профиля пути, данный участок имеет довольно равнинный профиль пути, который включает в себя лимитирующие уклоны, которые не превышают значения в 5 ‰. На указанном тяговом плече рационально использовать электровозы 2ЭС6. Однако, на участках рассматриваемого полигона Петропавловск – Курган – Челябинск с профилем, имеющим лимитирующие уклоны 8–9 ‰, ведение поездов тяговыми усилиями электровоза 3ЭС6 будет востребовано, так как в настоящее время на данном участке тяжеловесные поезда ведут по СМЕ;
- появление в электровозе бустерной секции увеличивает длину электровоза, что влечет за собой увеличение места, занимаемого локомотивом на тракционных путях депо, 2ЭС6 занимает 34 м, 3ЭС6 занимает 51 м (Рис. 6);
- возникают сложности по реализации вождения сдвоенных поездов без ведомого электровоза. Это объясняется: при прибытии на стоянку на промежуточную станцию, на которой при ведении сдвоенного поезда, осуществлялась расцепка поезда – ведущий заходит на один путь, ведомый на другой; поезд с ведущим локомотивом 3ЭС6 не вместится в парк приема, длина которого 1604 м (Рис. 7), а длина сдвоенного поезда в среднем 2150 м и более (Рис. 8), однако на станции Петропавловск есть возможность приема таких поездов (Рис. 8);
- переоснащение ремонтных и сервисных локомотивных депо и повышение квалификации работников по ремонту данных электровозов.

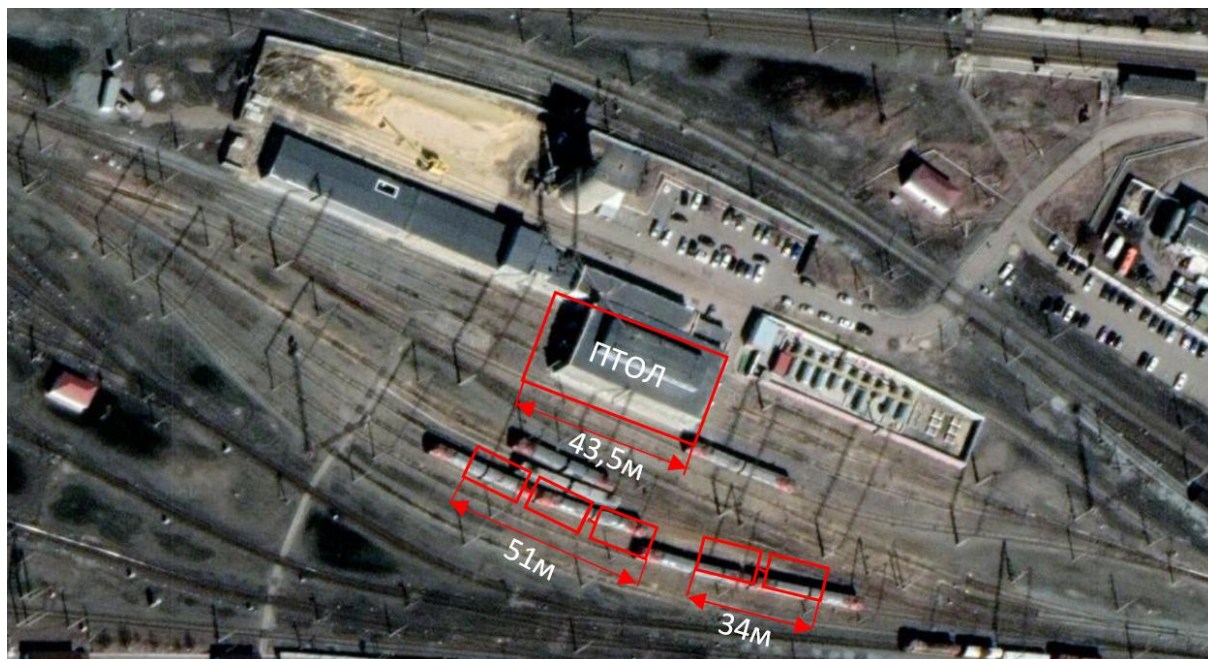


Рис. 6. Схематичное расположение электровоза 2ЭС6 и 3ЭС6 на ПТОЛ станции Входная



Рис. 7. Место приемки двоянных поездов станция Входная



Рис. 8. Место приемки двоянных поездов в нечетном парке, станция Петропавловск, двоянный поезд

На Рис. 6 видно, что под трехсекционный электровоз требуется больше места, что усложнит расстановку данных электровозов на тракционных путях сервисного локомотивного депо. А полная постанковка электровоза на стойла пункта технического обслуживания локомотивов

(ПТОЛ) станции Входная для проведения обслуживания также невозможна из-за длины ПТОЛ равной 43,5 м (Рис. 6). Однако на станции Петропавловск, длина ПТОЛ составляет 85,3 м, что идеально подходит для постановки данных локомотивов на обслуживание (Рис. 9.).



Рис. 9. Схематичное расположение электровоза 3ЭС6 на ПТОЛ станции Петропавловск

На Рис. 9 показано, что на территории ПТОЛ и на тракционных путях станции Петропавловск можно разместить более 5 электровозов серии 3ЭС6 одновременно.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПТОЛ ПРИ ПОМОЩИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для определения требуемых технических параметров ПТОЛ было использовано российское программное обеспечение E2 (разработанный компанией Aurap [10]) для создания графическо-физических 3D моделей электровоза 3ЭС6 и станции Петропавловск.

Разработка 3D-моделей является довольно трудозатратным процессом, который требует большого количества фотоматериала, чертежей, времени и навыков от разработчика. Для создания 3D-моделей потребовался начальный материал – чертежи и схемы, которые отображали геометрию модели для непосредственного создания самой графическо-физической модели объекта [11]. Чертежи позволили определить внешний вид, размеры высоты и ширины объекта (Рис. 10), которые являются основополагающими метриками для программного обеспечения E2 [12–15].

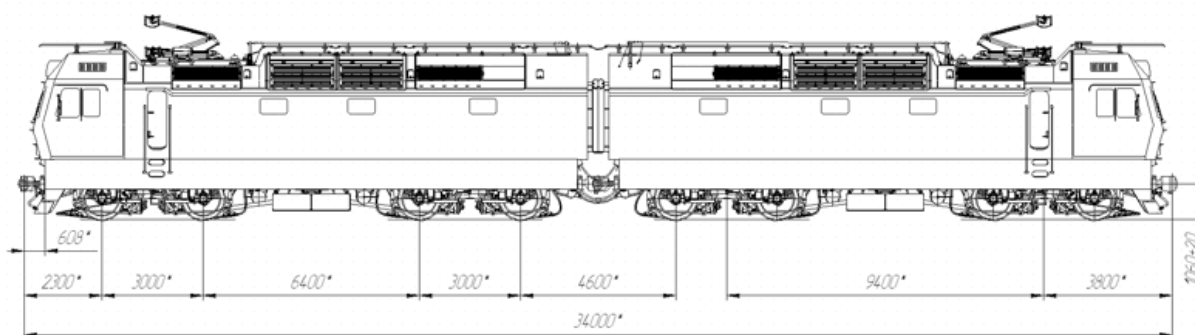


Рис. 10. Чертеж электровоза 2ЭС6 «Синара»

При создании имитационной модели станции и ПТОЛ учитывались её реальные параметры, которые были определены с помощью масштабности спутниковой карты открытого доступа Google, а также из фотоматериала личных архивов (Рис. 11).

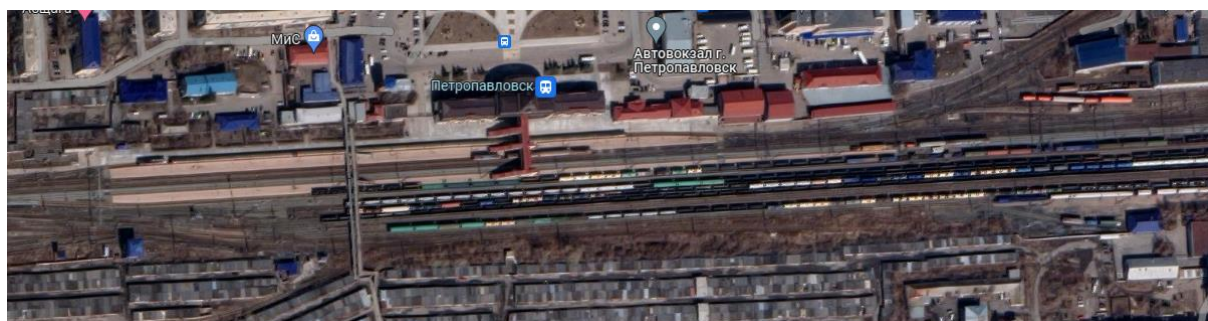


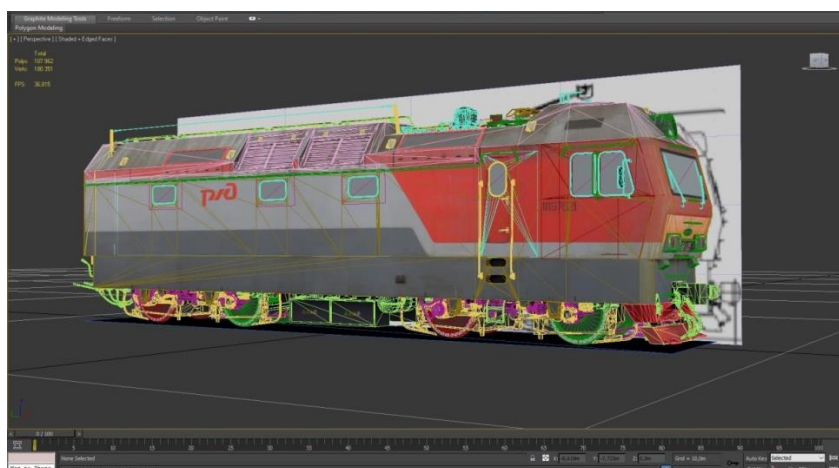
Рис. 11. Вид на вокзал станции Петропавловск со спутниковых карт Google Maps

При создании графическо-физической модели объекта были учтены следующие критерии:

- размерность физических объектов определялась в метрах, так как работать в программном обеспечении E2 возможно только с этой единицей измерения;
- при рассмотрении вопроса о создании модели в миллиметрах, для более корректного отображения результата выявлено, что при графическом экспортировании объекта он не соответствует заданным размерным параметрам и отображается с нарушениями физических величин. Этот процесс описывается как потеря ограничивающих рамок (Bounding Box), то есть когда модель теряется в пространстве из-за потери тех самых рамок;
- для отображения цветовых параметров необходимо использовать текстурный и фотоматериал;
- использование личного kuid (личный номер автора) является обязательным требованием для полноценного использования возможностей программного обеспечения E2.

Важно отметить, что процесс текстурирования считается важным шагом в создании графическо-физической модели, для получения текстурного материала можно воспользоваться фототекстурами будущей модели либо совершить покраску при помощи специализированных программных продуктов для создания текстур, для этого использовалось программное обеспечение Substance Painter, которое позволяет интегрировать результат в сторонние программные комплексы [15].

Графическо-физическая модель электровоза создавалась в программно-компьютерной среде 3Ds max 2012 и 3Ds max 2022. С 2019 года в программном комплексе Auran появилась поддержка моделей формата FBX что позволило отказаться от скрипт-экспорта, который использовался в 3Ds max 2012 и раньше, а также данный формат позволил использовать новый вид текстур PBR. Следовательно, можно использовать ранние версии 3Ds max и новые, например – 3Ds max 2022. На Рис. 12 представлены этапы создания модели электровоза для дальнейшего имитационного моделирования [16].



а) Определение примитивов физической модели



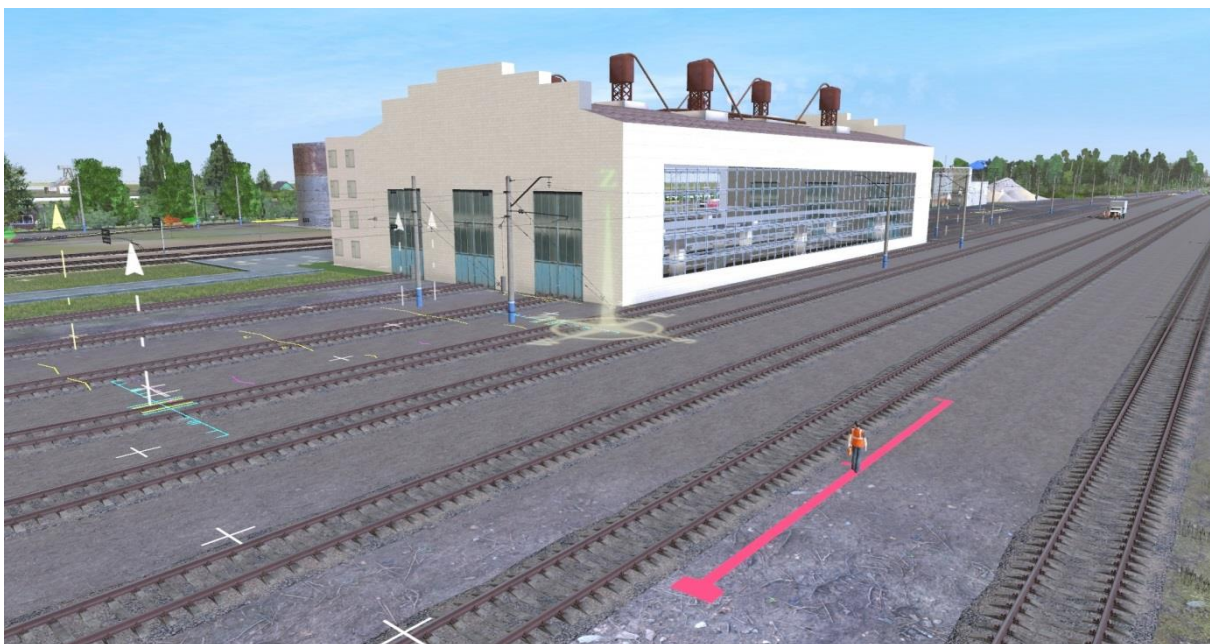
б) Утверждение графического изображения

Рис. 12. Этапы создания 3D-модели электровоза серии ЭС6 «Синара»

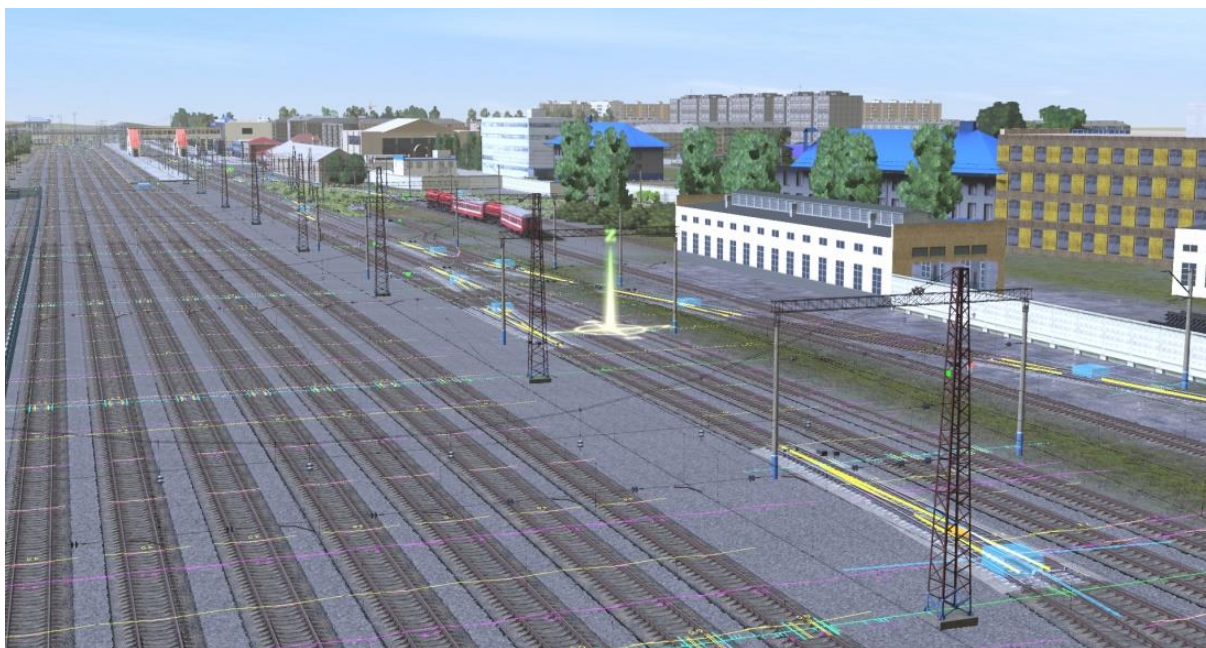
Для итогового создания графическо-физической имитационной модели электровоза 2ЭС6 и 3ЭС6 использовались чертежи (Рис. 10), на основе которых в программном комплексе были определены примитивы модели. К основным примитивам относятся: треугольник; квадрат; круг и т.п. Также в процессе моделирования использовался полигональный способ. Данный способ позволяет строить геометрию разрабатываемой модели на основе дублирования ребра полигона физических параметров. С помощью чертежей были смоделированы основные узлы электровоза серии ЭС6: тележки; колесные пары; электрическое оборудование (токоприемник, токоведущие шины, шунты, аккумуляторная батарея).

Для точного определения поместится ли электровоз в трехсекционном исполнении на ПТОЛ станции Петропавловск, необходимо было создать точную копию станции Петропавловск, для этого необходимо было учесть реальные размеры всей станционной инфраструктуры (Рис. 11).

Для расстановки светофоров использовался технико-распределительный акт станции Петропавловск, на котором расположены светофоры и стрелочные переводы с их названиями [11]. Чтобы сохранить реальный масштаб в процессе создания использовались линейки, которые встроены в графическо-физический программный комплекс E2 и имеют функцию масштабирования. Изначально определялись размерные параметры на спутниковой карте, а после в переносились в графическую модель. То есть каждое дерево или каждый дом стоит там, где он фактически находится в реальности. Аналогично проектировалась контактная сеть. Она изображалась при помощи специальной растягиваемой линейки длиной 60 метров (Рис. 13).



а) Графическое создание инфраструктуры станции



б) Графическое создание средств централизации и блокировки

Рис. 13. Определение технических параметров станции

Таким образом была создана имитационная 3D-модель объектов: станции Петропавловск и двух- и трехсекционных электровозов серии ЭС6 «Синара». Имитационное моделирование позволило произвести оценку постановки электровоза на ПТОЛ станции Петропавловск. Определено, что приемо-отправочные пути станции Петропавловск и тракционные пути ПТОЛ в действительности могут разместить как одиночные, так и с поездом электровозы 3ЭС6 (Рис. 14).



Рис. 14. Расположение электровоза 3ЭС6 на ПТОЛ станции Петропавловск при имитационном моделировании

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОКОМОТИВНОГО ПАРКА НА ОСНОВЕ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ВНЕДРЕНИЮ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ЭЛЕКТРОВЗОВ ЗЭС6

Для проведения анализа предполагаемой технико-экономической эффективности при организации перевозочного процесса на участках Урало-Сибирского железнодорожного полигона на основе внедрения в эксплуатацию электровозов ЗЭС6 была изучена расшифровка параметров движения указанного локомотива с поездом на рассматриваемых участках [17].

На Рис. 15 изображена расшифровка записывающего устройства регистратора параметров движения поезда и автоведения (карта РПДА) электровоза 2ЭС6 «Синара» на участке Московка – Петропавловск.

Изучив параметры участков эксплуатации электровоза можно сделать вывод, что лимитирующие уклоны наблюдаются на перегоне Московка – Карбышево I при движении по обводному пути от города Омска, в остальном же профиль достаточно единообразный без подъемов и спусков.

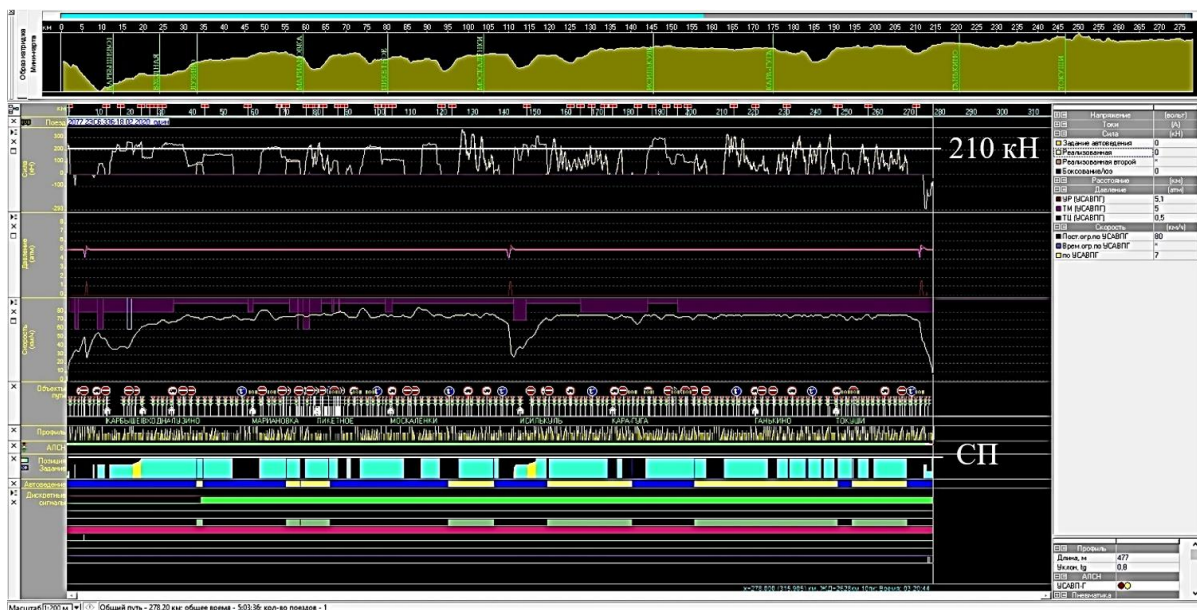


Рис. 15. Анализ карты РПДА электровоза 2ЭС6-336
на участке Московка – Петропавловск

При анализе параметров поездки выявлено, что сила тяги, без учета остановок, разгонов и замедлений, находилась в диапазоне от 175 до 210 кН, а тяговые электрические двигатели (ТЭД) находятся на ходовой позиции в режиме серийно-параллельного (СП) соединения. На электровозах ЗЭС6 возможно поддерживать подобные параметры движения при заданной силе тяги, при этом ТЭД будут находиться на

ходовой позиции серийного (С) соединения благодаря большей мощности, что обеспечивает энергоэффективные режимы ведения поезда, а также снятие нагрузки с блока пуско-тормозных резисторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований и выполненного компьютерного имитационного моделирования поездной обстановки свидетельствуют об эффективности применения в эксплуатации электровозов 3ЭС6 на Урало-Сибирском железнодорожном полигоне. Наиболее подходящими для эксплуатационной работы таких электровозов являются тяговые плечи Петропавловск – Курган – Челябинск, которые имеют II и III типовые профили пути. Инфраструктура приемо-отправочных станций, тракционных путей сервисных локомотивных депо позволяет проводить по названным участкам поезда повышенной массы и длины ведущим одним электровозом 3ЭС6 и их полноценное техническое обслуживание.

В рамках дальнейшего исследования перспектив использования в эксплуатации на рассматриваемых участках электровозов 3ЭС6 необходимо произвести расчет технико-экономического обоснования замены парка локомотивов серии ВЛ10 Урало-Сибирского железнодорожного полигона новыми электровозами методом сравнения затрат на приобретение, эксплуатацию и технического обслуживания новых локомотивов по сравнению с затратами по обновлению и содержанию существующего парка электровозов.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Брексон В.В., Никифорова Н.Б., Струнов А.А. Электровоз 2ЭС6 «Синара» / под ред. В.В. Брексона. – Верхняя Пышма: ООО «Уральские локомотивы», 2015. – 332 с. [Brekson VV, Nikiforova NB, Strunov AA. *Elektrovoz 2ES6 Sinara*. Brekson VV, editor. Verkhnyaya Pyshma: Uralskie lokomotivy; 2015. 332 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 29.12.2022. Доступно по: <https://eva.tools/literatura/re/elektrovoz-2es6-sinara>
2. Уральские локомотивы. [Uralskie lokomotivy. [Internet]. (In Russ.)]. Ссылка активна на 29.12.2022. Доступно по: <https://ulkm.ru/actions/uspeshno-zavershilis-ipytaniya-elektrovoza-2es6-s-busternoj-sekciej>
3. Дяо Сюхуа. Экономическое сотрудничество северо-восточного региона Китая и ДВ России в новых условиях: состояние, возможности и предложение // Теоретическая экономика. – 2022. – № 1. – С. 70–78. [Dyao Syukhua.

- Ekonomicheskoe sotrudnichestvo severo-vostochnogo regiona Kitaya i DV Rossii v novykh usloviyakh: sostoyanie, vozmozhnosti i predlozhenie. *Teoreticheskaya ekonomika*. 2022;1:70-78. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 29.12.2022. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48179855>
4. Khokhrina OI. Kuzbass-2035: the territory as a driver of economic growth. *World of Economics and Management*. 2020;20(4):61-77. doi.org/10.25205/2542-0429-2020-20-4-61-77
 5. Об утверждении Инструкции по организации обращения грузовых поездов повышенной массы и длины на железнодорожных путях общего пользования ОАО «РЖД». Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 01.09.2016 № 1799р. Режим доступа: <https://base.garant.ru/77674057/>. Дата обращения: 17.10.2022. [Ob utverzhenii Instruksii po organizatsii obrashcheniya gruzovykh poezdov povyshennoy massy i dliny na zheleznodorozhnykh putyakh obshchego polzovaniya JSC "Russian Railways". Utverzhdено rasporyazheniem JSC "Russian Railways" ot 01.09.2016 № 1799r. Available from: <https://base.garant.ru/77674057>. (In Russ.)].
 6. Кичигин А. Результат с опорой на традиции // Газета «Гудок». – 30 апреля, 2021. [Kichigin A. Rezultat s oporoy na traditsii. *Gazeta "Gudok"*. 2021 April 30. (In Russ.)].
 7. Режимные карты вождения грузовых поездов электровозами эксплуатационного локомотивного депо Тайга. Западно-Сибирская дирекция тяги. – Новосибирск: ДТ ЗС, 2016. – 246 с. [*Rezhimnye karty vozheniya gruzovykh poezdov elektrovozami ekspluatatsionnogo lokomotivnogo depo Tayga. Zapadno-Sibirskaya direktsiya tyagi*. Novosibirsk: DT ZS; 2016. 246 p. (In Russ.)].
 8. Режимные карты вождения грузовых поездов электровозами эксплуатационного локомотивного депо Петропавловск. Южно-Уральская дирекция тяги. – Челябинск: ДТ ЮЖУ, 2016. – 212 с. [*Rezhimnye karty vozheniya gruzovykh poezdov elektrovozami ekspluatatsionnogo lokomotivnogo depo Petropavlovsk. Yuzhno-Uralskaya direktsiya tyagi*. Chelyabinsk: DT YuzhU; 2016. 212 p. (In Russ.)].
 9. Щербаков М. Две судьбы под откос // Газета «Гудок». – 03 октября, 2011. [Shcherbakov M. Dve sudby pod otkos. *Gazeta «Gudok»*. 2011 October 03. (In Russ.)].
 10. TrainzWiki. [Internet]. Essen: N3V Games; [cited 12 July 2022] Available from https://online.ts2009.com/mediaWiki/Main_Page
 11. Горелик А.А. Самоучитель 3Ds Max. СПб: БХВ-Петербург, 2018. [Gorelik AA. *Samouchitel 3Ds Max*. St. Peterburg: BKhV-Peterburg; 2018. (In Russ.)]. Доступно по: https://www.ibooks.ru/products/356705?category_id=12312 Ссылка активна на: 29.12.2022.
 12. Ерсултанова З.С., Сатмаганбетова Ж.З., Жиенбаева А.А. Особенности применения среды 3D STUDIO MAX для сеточного моделирования трехмерных объектов // Вестник Костанайского государственного педагогического университета имени Умирзака Султангазина. – 2020. – №1(57). – С. 55–62. [Ersultanova ZS, Satmaganbetova ZhZ, Zhienbaeva AA. Osobennosti primeneniya sredy 3D STUDIO MAX dlya setochnogo modelirovaniya trekhmernykh obektov. *Vestnik Kostanayskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta imeni Umirzaka Sultangazina*. 2020;1(57):55-62. (In Russ.)]. Доступно по: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42478225> Ссылка активна на: 29.12.2022.
 13. Потапкин А.П., Кучвальский Д.С. 3D studio MAX. – М.: Эком, 2017.

- [Potapkin AP, Kuchvalskiy DS. *3D studio MAX*. Moscow: Ekom, 2017. (In Russ.)].
Доступно по: <https://www.libex.ru/detail/book173474.html> Ссылка активна на:
29.12.2022.
14. Тонкости настройки и работы в 3ds max / под ред. А.П. Водолазской. – М.: НТ Пресс, 2014. – 1072 с. [Vodolazskaya AP, editors. *Tonkosti nastroyki i raboty v 3ds max*. Moscow: NT Press, 2014. 1072 p. (In Russ.)]. Ссылка активна на:
29.12.2022. Доступно по: <https://chaconne.ru/product/2399728>
 15. Aly MHF, Hameda H, El-sayed MA. Computer applications in railway operation. *Alexandria Engineering Journal*. 2016;55(2):1573-80. doi: 10.1016/j.aej.2015.12.028
 16. Шнейдеров В.Л. Иллюстрированный самоучитель 3ds max. СПб: Питер, 2013. [Shneyderov VL. *Illyustrirovannyy samouchitel 3ds max*. St. Petersburg: Piter, 2013. (In Russ.)]. Ссылка активна на: 29.12.2022. Доступно по: <https://www.labirint.ru/books/88765>
 17. Отчетные данные о поездной работе магистральных грузовых электровозов эксплуатируемых на участках Урало-Сибирского полигона Западно-Сибирской железной дороги за 2020–2021 гг. от 28.03.2022 г. № Исх-1610/ЗСиб Т / Западно-Сибирская дирекция тяги. – Новосибирск: ДТ ЗС, 2022. – 26 с. [Otchetnye dannye o poezdnoy rabote magistralnykh gruzovykh elektrovozov ekspluatiruemyykh na uchastkakh Uralo-Sibirskogo poligona Zapadno-Sibirskoy zheleznoy dorogi za 2020 – 2021 gg. ot 28.03.2022 g. № Iskh-1610/ZSib T / Zapadno-Sibirskaya direktsiya tyagi. Novosibirsk: DT ZS; 2022. 26 p (In Russ.)].

Сведения об авторах:

Доманов Кирилл Иванович, канд. техн. наук;

Тел: +7(923) 671-45-33

eLibrary SPIN: 4153-0463; ORCID: 0000-0002-2627-4179;

E-mail: dki35@ya.ru

Богун Вадимович;

eLibrary SPIN: 5829-8716; ORCID: 0000-0003-4084-354X;

E-mail: kbogunov@mail.ru

Information about the authors:

Kirill I. Domanov, Ph.D. of Engineering Sciences;

eLibrary SPIN: 4153-0463; ORCID: 0000-0002-2627-4179;

E-mail: dki35@ya.ru

Kirill V. Bogunov;

eLibrary SPIN: 5829-8716; ORCID: 0000-0003-4084-354X;

E-mail: kbogunov@mail.ru

Цитировать:

Доманов К.И., Богун В.В. Эффективность эксплуатации электровозов 3ЭС6 на Урало-сибирском полигоне // Инновационные транспортные системы и технологии. – 2023. – Т. 9. – № 1. – С. 64–82. doi: 10.17816/transsyst20239164-82

To cite this article:

Domanov KI, Bogunov KV. Efficiency of operation of 3ES6 electric locomotives at the Ural-Siberian polygon. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2023;9(1):64-82. doi: 10.17816/transsyst20239164-82