

Эксплуатация транспортных систем

УДК 629.42–629.4.054

О. С. Абляимов, канд. техн. наук

Кафедра «Локомотивы и локомотивное хозяйство»,
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

АНАЛИЗ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОВЗОВОВ ЗВЛ80^С НА УЧАСТКЕ МАРОКАНД – КАТТАКУРГАН В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Исследуются вопросы тягово-энергетической эффективности использования магистральных (поездных) грузовых локомотивов электрической тяги в разнообразных условиях организации грузового движения на одном из участков узбекских железных дорог. Результаты исследований по обоснованию параметров перевозочной работы трехсекционных магистральных грузовых электровозов ЗВЛ80^С на реальном железнодорожном участке Мароканд – Каттакурган направления Самарканд – Навои – Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари» при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах были получены методами теории локомотивной тяги.

Методика исследований состояла в разработке математических моделей ведения грузовых поездов упомянутыми электровозами на указанном участке железной дороги и выполнении на их основе серии тяговых расчетов для различных условий организации железнодорожных перевозок грузов на данном участке железнодорожного пути. Полученные кинематические параметры движения грузовых поездов и показатели тягово-энергетической эффективности использования исследуемых грузовых электровозов ЗВЛ80^С для двух упомянутых выше видов движения, организованных по перегонам железнодорожного участка Мароканд – Каттакурган, приведены в виде табличных данных, графических зависимостей и уравнений регрессий. Уравнения регрессии предназначены для вычисления усредненной величины кинематических и энергетических (в количественном и денежном исчислении) параметров основных показателей эффективности перевозочной работы исследуемых электровозов на заданном участке любой массы состава грузового поезда с достаточной величиной достоверности аппроксимации.

Практическая значимость результатов исследований определяется перспективой (необходимостью) неперемного использования их машинистами – инструкторами по теплотехнике, специалистами линейных предприятий локомотивного хозяйства и других структурных подразделений АО «Ўзбекистон темир йўллари», профессиональная и производственная деятельности которых непосредственно и напрямую связаны с организацией железнодорожных перевозок грузов и вопросами экономии электрической энергии на тягу поездов.

промежуточная станция; грузовой поезд; отдельный пункт; грузовой электровоз; железнодорожный путь; железная дорога; подвижной состав; железнодорожный участок; кинематический параметр; графическая зависимость; энергетический параметр; теория локомотивной тяги; электрическая энергия

Введение

Повышение производительности (пропускной и провозной способности) железных дорог может быть достигнуто двумя путями, один из которых заключается в повсеместном увеличении объема железнодорожных перевозок всех видов с учетом сокращения времени доставки грузов и пассажиров к месту назначения. Другой путь – эффективная работа всего тягового подвижного состава, в том числе электрического, за счет внедрения в эксплуатацию современных высокопроизводительных магистральных (поездных) электропоездов нового поколения и переход на другие, наиболее прогрессивные, виды локомотивной тяги.

Специалисты АО «Ўзбекистон темир йўллари», опираясь на рекомендации по обоим упомянутым выше путям и реализуя их в различном сочетании на практике, отмечают положительную динамику результатов, касающихся повышения пропускной и провозной способности участков узбекских железных дорог независимо от рода движения и вида железнодорожных перевозок. Этому способствуют также внедрение ресурсосберегающих технологий с учетом оптимизированных режимов управления перевозочным процессом, в том числе рациональных принципов организации движения поездов и эксплуатации локомотивов с обеспечением их высокой эксплуатационной надежности, а также неукоснительное выполнение скоординированных требований всех нормативных документов по безопасности движения поездов.

Кроме этого, повсеместная электрификация действующих (неэлектрифицированных) и вновь строящихся (или уже построенных) железнодорожных линий и участков на узбекских железных дорогах с учетом вышеизложенного позволит сотрудникам АО «Ўзбекистон темир йўллари», причастным к движению разных видов поездов, решить важную задачу по повышению эффективности использования локомотивного парка в различных условиях эксплуатации.

1 Постановка задачи исследования

Следует отметить, что исследованию повышения эксплуатационной надежности обычного, скоростного и высокоскоростного электрического подвижного состава в различных условиях организации разных видов движения на электрифицированных участках железных дорог посвящено большое количество научных работ зарубежных ученых, в том числе [1–7].

Исследования [1–5] в основном касаются изучения процесса передачи электрической энергии от контактного провода к оборудованию тягово-энергетической системы движущегося электрического подвижного состава через токоприемник со скользящим электрическим контактом в об-

ласти изоляторов и нейтральных вставок контактной сети применительно к высокоскоростным железнодорожным магистралям. Делая упор на движение электрического подвижного состава с высокими скоростями, авторы рекомендуют улучшить качественную составляющую процесса токосяема как за счет оптимизации его режимов путем нормирования верхнего и нижнего пределов контактного нажатия, так и посредством использования механических и электрических средств защиты от всякого рода резонансных явлений при этом. Несомненно, эти решения несколько сгладят динамику взаимодействия токоприемника с контактным проводом, что немаловажно, особенно в кривых участках железнодорожного пути, и тем самым позволят обеспечить повышение общего уровня безопасности движения по участку.

Действительно, опыт эксплуатации тягового электрического подвижного состава показывает, что нарушение контакта при токосяеме может привести к возникновению бесконтактной электродуговой (недостаточное контактное нажатие) или контактной электровзрывной (перегрузка точек контакта рабочим током) эрозий, следствием чего является повышенный износ контактирующих элементов (контактные провода и контактные вставки токоприемника) и их неизбежное искрение.

В [6, 7] показаны условия работы на скоростных (высокоскоростных) участках железных дорог автоматических средств, используемых на высокоскоростном пассажирском электрическом подвижном составе для отключения тока, основным предназначением которых является прохождение ими сопряжений анкерных участков с нейтральной вставкой в режиме выбега (холостого хода) и исключение при этом любого вида пережога контактного провода. В случае вынужденной остановки поезда под нейтральной вставкой, с целью его вывода из этого места, рекомендуется для временной подачи напряжения на нейтральную вставку со стороны направления движения поезда использовать нормально-разомкнутые секционные разъединители с ручным приводом и заземляющим ножом.

Методики и результаты исследований авторов [1–7] имеют определенный научный интерес и практическую значимость, однако не взаимоувязаны с обоснованием параметров основных показателей энергоемкости перевозочной работы и эффективности использования электрического подвижного состава применительно к реальным условиям организации грузового движения на участках узбекских железных дорог.

В настоящее время пополнение электровозного парка железнодорожной отрасли Узбекистана в количественном и качественном отношении осуществляется, главным образом, за счет приобретения и последующего активного ввода в эксплуатацию локомотивов нового поколения – это грузовые, пассажирские и грузопассажирские электровозы «Узбекистан» производства Китайской Народной Республики [8]. Данные электровозы были спроектированы на основе технического задания, разработанного специалистами

АО «Ўзбекистон темир йўллари», в конструкторском бюро технического центра при Чжучжоуском электровозостроительном заводе, на котором затем были изготовлены.

Обновление парка локомотивов осуществляется путем выполнения капитального ремонта второго объема¹ с продлением срока службы основных узлов (главной рамы и рамы тележки) экипажной части электровозов серий ВЛ60^к и ВЛ80^с.

Электровозный парк АО «Ўзбекистон темир йўллари» насчитывает более ста восьмидесяти секций локомотивов электрической тяги, из которых приблизительно 70% приходится на магистральные грузовые электровозы ВЛ80^с в различном секционном исполнении, а реализуемая ими немалая часть общего объема грузовых перевозок составляет примерно 59,2% [9]. В связи с этим исследования, направленные на изучение тягово-энергетической эффективности использования магистральных грузовых локомотивов электрической тяги с учетом разработки рекомендаций и мероприятий по повышению эффективности в разнообразных условиях эксплуатационной деятельности различных участков узбекских железных дорог являются своевременными и актуальными задачами АО «Ўзбекистон темир йўллари».

Основу исследований составили методы и рекомендации [10, 11] теории локомотивной тяги и разработанный автором данной статьи алгоритм реализации задачи с учетом исходных данных [12, 13], касающихся материально-технологических условий перевозочной работы локомотивов, спрямленного профиля пути исследуемого участка, объекта и предмета исследований.

Объектом исследования являются трехсекционные магистральные грузовые электровозы серии ЗВЛ80^с и спрямленный профиль пути железнодорожного участка Мароканд – Каттакурган.

Предмет исследования – основные показатели и параметры тягово-энергетической эффективности перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^с на заданном участке железнодорожного пути холмисто-горного направления Мароканд – Навои.

Следует сказать, что трехсекционные магистральные грузовые электровозы ЗВЛ80^с имеют системы, основным предназначением которых являют-

¹ Характеристики капитальных ремонтов КР-1 и КР-2 согласно Приказу 58-Н ОТ 21.02.2011 г.:

– капитальный ремонт КР-1 – капитальный ремонт первого объема, предназначенный для восстановления эксплуатационных характеристик, исправности и межремонтного ресурса (срока службы) путем замены, ремонта изношенных и поврежденных агрегатов, узлов и деталей, их модернизации;

– капитальный ремонт КР-2 – капитальный ремонт второго объема, предназначенный для восстановления эксплуатационных характеристик, исправности и полного межремонтного ресурса (срока службы), а также модернизации всех агрегатов, узлов и деталей, включая базовые, полной замены проводов на новые, кабелей и оборудования с выработанным моторесурсом (по установленному перечню).

ся гарантированное и своевременное обеспечение ступенчатого контакторного регулирования напряжения коллекторных тяговых электродвигателей последовательного возбуждения, электрического реостатного торможения и возможности одновременного управления тремя однотипными секциями по системе многих единиц (СМЕ) [14].

Опираясь на [15], приводим краткую характеристику профиля пути заданного железнодорожного участка.

Участок железнодорожного пути Мароканд – Каттакурган протяженностью 61,75 км является составной частью реального холмисто-горного участка. Он содержит сорок один элемент, из которых восемнадцать и двадцать три элемента пути характеризуются изменением крутизны соответственно подъемов от +0,6 до +5,82 ‰ и спусков от –0,19 до –5,87 ‰, площадки отсутствуют.

Железнодорожный участок пути Мароканд – Каттакурган имеет две промежуточные станции и один разъезд, на которых ограничение по скорости движения составляет $V^{ог} = 80$ км/ч (ст. Джума) и $V^{ог} = 60$ км/ч (ст. Нурбулак, ст. Каттакурган, Разъезд № 24). Кроме того, перегоны Мароканд – Джума и Нурбулак – Каттакурган располагают (имеют) по одному ограничению по скорости движения $V^{ог} = 80$ км/ч и по два таких же ограничения по скорости движения грузовых поездов имеет перегон Джума – Разъезд № 24. При этом наибольшая скорость движения грузового поезда составляет $V^{max} = 90$ км/ч.

2 Результаты исследований и их анализ

В табл. 1 приведены кинематические и энергетические параметры основных показателей перевозочной работы трехсекционных магистральных грузовых электровозов ЗВЛ80^С при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах, а также средние и усредненные значения параметров упомянутых выше показателей для обоих видов движения. Последние упомянутые значения были определены как среднеарифметические величины в принятом автором диапазоне изменения массы составов (от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т) грузового поезда. Здесь и далее (в табл. 2) знаком «*» обозначены полные и удельные затраты денежных средств (стоимость электрической энергии) с учетом налога на добавленную стоимость (НДС).

Качественная составляющая перевозочной работы трехсекционных магистральных грузовых электровозов ЗВЛ80^С, выполненной при реализации в грузовом движении железнодорожных перевозок различных по видам и типам грузов на железнодорожном участке, оценивалась путем сопоставления между собой этих значений.

Таблица 1. Основные показатели перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган

Вариант тягового расчета	Условия перевозочной работы			Время хода поезда, мин			Расход электроэнергии за поездку		Затраты денежных средств	
	Масса состава Q , т	Число осей m	Техническая (ходовая) скорость движения V_p , км/ч	общее t_x	в режиме тяги t_T	в режиме холостого хода и торможения t_{xx} , т	общий A , кВт·ч	удельный a , Вт·ч/т·км брутто	полные C_3 , тыс. сўм	удельные C_3 , тыс. сўм/км
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Движение по перегонам участка без остановок</i>										
Перегон Мароканд – Джума, $L = 8,75$ км										
1	2500	200	72,67	7,20	2,45	4,75	335,93	15,41	29,239 35,071*	3,353 4,022*
2	3000	200	69,76	7,50	2,85	4,65	363,29	13,89	31,620 37,927*	3,626 4,349*
3	3500	200	67,08	7,80	3,30	4,50	396,49	12,99	34,510 41,393*	3,957 4,747*
Перегон Джума – Нурбулак, $L = 29,00$ км										
1	2500	200	75,70	22,60	2,50	20,10	471,27	6,61	41,019 49,200*	1,438 1,725*
2	3000	200	74,87	22,85	2,70	20,15	487,54	5,70	42,435 50,899*	1,488 1,785*
3	3500	200	73,90	23,15	3,00	20,15	514,47	5,15	44,779 53,710*	1,570 1,884*
Перегон Нурбулак – Каттакурган, $L = 24,00$ км										
1	2500	200	80,54	17,95	2,40	15,55	471,42	7,82	41,032 49,216*	1,703 2,042*
2	3000	200	79,00	18,30	3,05	15,25	496,63	6,87	43,227 51,848*	1,794 2,152*
3	3500	200	77,52	18,65	3,85	14,80	523,70	6,21	45,583 54,674*	1,892 2,269*
<i>Движение по участку Мароканд – Каттакурган, $L = 61,75$ км</i>										
1	2500	200	77,06	47,75	7,35	40,40	1278,62	8,34	111,291 133,175*	1,815 2,171*
2	3000	200	75,64	48,65	8,60	40,05	1347,46	7,32	117,283 140,675*	1,912 2,294*
3	3500	200	74,19	49,60	9,80	39,80	1434,66	6,68	124,873 149,778*	2,036 2,442*
Средние значения			75,63	48,67	8,58	40,09	1353,58	7,45	117,816 141,209*	1,921 2,302*

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Движение по перегонам участка с остановками</i>										
Перегон Мароканд – Джума, $L = 8,75$ км										
1	2500	200	60,84	8,60	1,95	6,65	351,67	16,13	30,609 36,714*	3,510 4,210*
2	3000	200	59,45	8,80	2,10	6,70	372,04	14,22	32,382 38,841*	3,713 4,454*
3	3500	200	58,13	9,00	2,30	6,70	406,98	13,33	35,423 42,489*	4,062 4,872*
Перегон Джума – Нурбулак, $L = 29,00$ км										
1	2500	200	69,12	24,75	3,95	20,80	760,76	10,67	66,216 79,423*	2,322 2,785*
2	3000	200	68,98	24,80	4,15	20,65	798,18	9,33	69,473 83,330*	2,436 2,922*
3	3500	200	68,70	24,90	4,50	20,40	847,44	8,49	73,761 88,473*	2,587 3,103*
Перегон Нурбулак – Каттакурган, $L = 24,00$ км										
1	2500	200	74,14	19,50	3,60	15,90	624,00	10,36	54,313 65,146*	2,254 2,703*
2	3000	200	74,14	19,50	3,80	15,70	654,31	9,05	56,951 68,310*	2,363 2,835*
3	3500	200	73,95	19,55	4,10	15,45	693,70	8,22	60,380 72,422*	2,506 3,005*
<i>Движение по участку Мароканд – Каттакурган, $L = 61,75$ км</i>										
1	2500	200	69,62	52,85	9,50	43,35	1736,43	11,32	151,139 181,283*	2,464 2,956*
2	3000	200	69,30	53,10	10,05	43,05	1824,53	9,92	158,807 190,481*	2,589 3,106*
3	3500	200	68,87	53,45	10,90	42,55	1948,12	9,07	169,564 203,383*	2,765 3,316*
Средние значения			69,26	53,13	10,15	42,98	1836,36	10,10	159,837 191,716*	2,606 3,126*
<i>Значения по обоим видам движения</i>										
Усредненные значения на участке Мароканд – Каттакурган, $L = 61,75$ км										
1	2500	200	73,34	50,30	8,42	41,88	1507,52	9,83	131,215 157,229*	2,139 2,563*
2	3000	200	72,47	50,87	9,32	41,55	1586,99	8,62	138,045 165,578*	2,250 2,700*
3	3500	200	71,53	51,52	10,35	41,17	1691,39	7,87	147,218 176,580*	2,400 2,879*
Средние значения			72,45	50,90	9,36	41,54	1595,30	8,77	138,826 166,462*	2,263 2,714*

Таблица 2. Параметры основных показателей эффективности перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган, длина участка $L = 61,75$ км

Вариант тягового расчета	Исходные данные		Кинематические параметры движения грузового поезда				Энергетические параметры эффективности перевозочной работы – количественные и денежные			
	Масса состава q , т	Число осей в составе m , осей	Скорость движения	Время хода поезда, мин/ост.			Расход электрической энергии		Стоимость электрической энергии	
			техническая $\Delta V_{т}$, км/ч ост.	общее, Δt_x	в режиме тяги, Δt_t	в режиме холостого хода и торможения, $\Delta t_{хх,т}$	общий ΔA /ост., кВт·ч	удельный Δa , Вт·ч/т·км брутто: ост	полная ΔC_3 , тыс. сўм/ост.	удельная Δc_3 , тыс. сўм/км: ост.
<i>Значения параметров эффективности перевозочной работы на одну остановку грузового поезда</i>										
1	2500	200	-2,48	1,700	0,717	0,983	152,600	0,993	13,282 16,036*	0,216 0,262*
2	3000	200	-2,11	1,483	0,483	1,000	159,023	0,867	13,841 16,602*	0,226 0,271*
3	3500	200	-1,77	1,284	0,367	0,917	171,577	0,797	14,897 17,868*	0,243 0,291*
Средние значения			-2, 12	1,489	0,522	0,967	160,985	0,886	14,007 16,835*	0,228 0,275*
<i>Темп изменения параметров перевозочной работы исследуемых электровозов</i>										
1	2500	200	0,903	1,107	1,293	1,073	1,358	1,358	1,358 1,358*	1,358 1,358*
2	3000	200	0,916	1,091	1,169	1,075	1,354	1,354	1,354 1,354*	1,354 1,354*
3	3500	200	0,928	1,078	1,112	1,063	1,358	1,358	1,358 1,358*	1,358 1,358*
Средние значения			0,916	1,092	1,191	1,070	1,357	1,357	1,357 1,357*	1,357 1,357*

Анализ средних значений параметров основных показателей перевозочной работы исследуемых электровозов ЗВЛ80^С (см. табл. 1) свидетельствует, что движение грузовых поездов с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах участка Мароканд – Каттакурган, по сравнению к аналогичным движением без остановок на них, показывает:

- увеличение общего времени хода поезда на 4,46 мин при среднем расчетном времени на одну остановку приблизительно 1,49 мин и уменьшение технической скорости движения на 6,01 км/ч;

- значения долей движения в режимах тяги 19,10%, а холостого хода и торможения – 80,90%;

- увеличение/уменьшение соответственно значений долей движения в режимах тяги, а также холостого хода и торможения приблизительно на 1,47%;

- увеличение полного и удельного расхода электрической энергии на тягу поездов за поездку соответственно в среднем приблизительно на 35,67 и 35,57%;

- полный и удельный расход электрической энергии на одну остановку соответственно приблизительно 160,93 кВт·ч и 0,883 Вт·ч/т·км брутто;

- увеличение полных и приведенных удельных денежных затрат соответственно на 42,014 тыс. сўм (или 35,66%) и 0,685 тыс. сўм/км (или 35,66%) – без учета НДС (с учетом НДС аналогичные увеличения составят соответственно 50,507 тыс. сўм (или 35,77%) и 0,824 тыс. сўм/км (или 35,80%).

Анализ усредненных значений параметров основных показателей перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С в сравнении со следующим по графику движения грузовым поездом, имеющим унифицированную массу состава $Q_2 = 3000$ т и число осей в составе $m = 200$ осей [9, 16], позволил сформулировать следующие выводы.

1. Среднее общее время хода поезда составляет приблизительно 0,848 ч, а уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т приводит к уменьшению общего времени хода поезда приблизительно на 1,12%, причем с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т происходит также увеличение этого времени на 1,28%.

2. Техническая скорость движения поезда при аналогичном изменении массы состава имеет тенденцию к повышению и снижению соответственно на 1,2 и 1,3%, причем в среднем она приблизительно составляет 72,45 км/ч.

3. Полный и удельный средние расходы электрической энергии на тягу поездов составляют соответственно 1595,3 кВт·ч и 8,77 Вт·ч/т·км брутто (или условного дизельного топлива 35,87 кг/10⁴ т·км брутто).

4. Уменьшение массы состава приблизительно на 20% способствует уменьшению полного расхода электрической энергии на 5,0%, однако удельный расход электрической энергии при этом увеличивается на 14,04%.

Увеличение массы состава приблизительно на 20% обеспечивает увеличение полного (общего) и уменьшение удельного расхода электрической энергии соответственно на 6,58 и 8,7%.

5. Время хода поезда в режимах холостого хода, торможения и тяги колеблется соответственно от 0,698 до 0,686 ч и от 0,140 до 0,172 ч. Увеличение массы состава приблизительно на 20% способствует уменьшению времени хода поезда в режиме холостого хода, торможения и его увеличению в режиме тяги соответственно на 0,006 и 0,017 ч. Время хода поезда в режиме холостого хода, торможения и в режиме тяги уменьшается соответственно на 0,005 и 0,015 ч с уменьшением приблизительно на 20% массы состава.

6. Уменьшение массы состава приблизительно на 20% приводит к снижению показателя использования режима тяги и увеличению показателя использования режима холостого хода и торможения [16] на 1,58%, а с увеличением массы состава приблизительно на 20%, наоборот, происходит повышение и снижение этих показателей на 1,77%.

7. Увеличение массы состава приблизительно на 20% приводит к повышению полной и удельной стоимостей за израсходованное количество электрической энергии в среднем на 6,65%, а с уменьшением массы состава приблизительно на 20% – снижение этих показателей в среднем на 4,94%.

Кинематические параметры движения грузового поезда и параметры энергетической эффективности перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^С, с учетом распределения для каждой фиксированной остановки на промежуточной станции, разъезде или в раздельном пункте, и темпы изменения (убывания или нарастания) значений этих параметров в диапазоне принятого нами варьирования на величину $\Delta Q = 500$ т массы состава (от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т) грузовых поездов на исследуемом железнодорожном участке Мароканд – Каттакурбан четного направления Самарканд – Навои – Бухара в количественном и денежном исчислении приведены в табл. 2, здесь же вычисленные средние значения обозначают среднеарифметические величины.

В табл. 2 отрицательный знак свидетельствует о снижении технической скорости движения грузового поезда и не влияет на значения абсолютной величины этой скорости, а только указывает на ее уменьшение при увеличении массы состава в процессе организации железнодорожных перевозок грузов на участке Мароканд – Каттакурбан.

На рис. 1 и рис. 2 показана динамика приведенных параметров основных показателей эффективности перевозочной работы трехсекционных магистральных грузовых электровозов ЗВЛ80^С на заданном участке Мароканд – Каттакурбан железнодорожного направления Самарканд – Навои – Бухара в зависимости от изменения массы составов грузовых поездов. Оси абсцисс на этих рисунках, по массе состава грузовых поездов, имеют следующие обозначения: 1 – $Q_1 = 2500$ т, 2 – $Q_2 = 3000$ т и 3 – $Q_3 = 3500$ т.

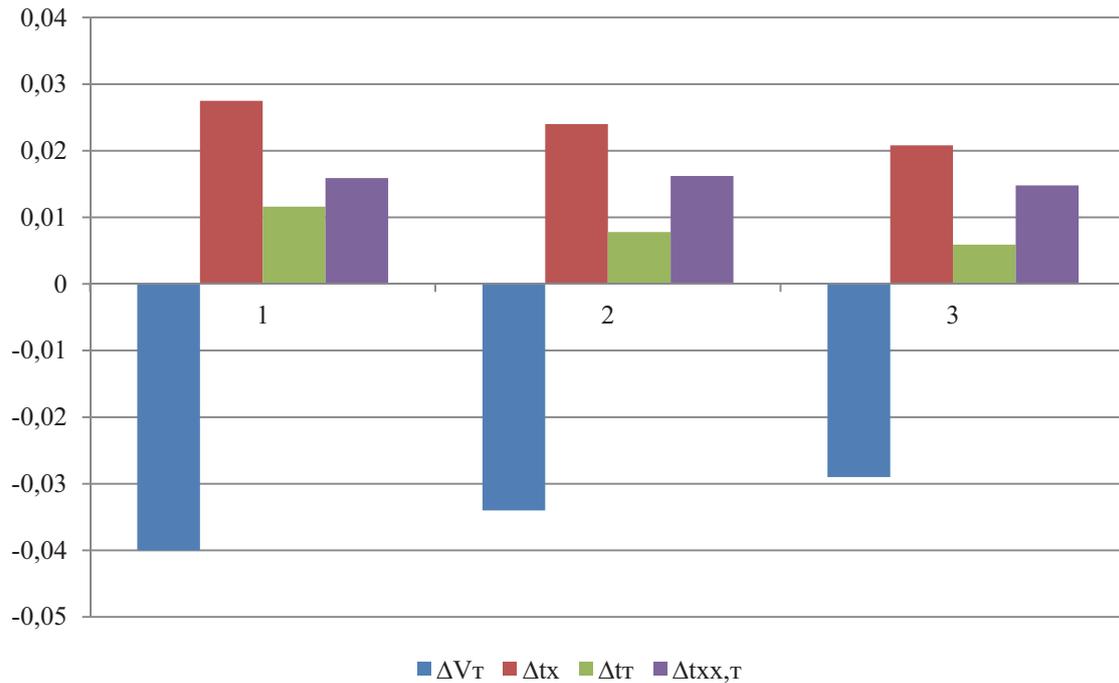


Рис. 1. Динамика приведенных кинематических параметров движения грузового поезда на участке Мароканд – Каттакурган

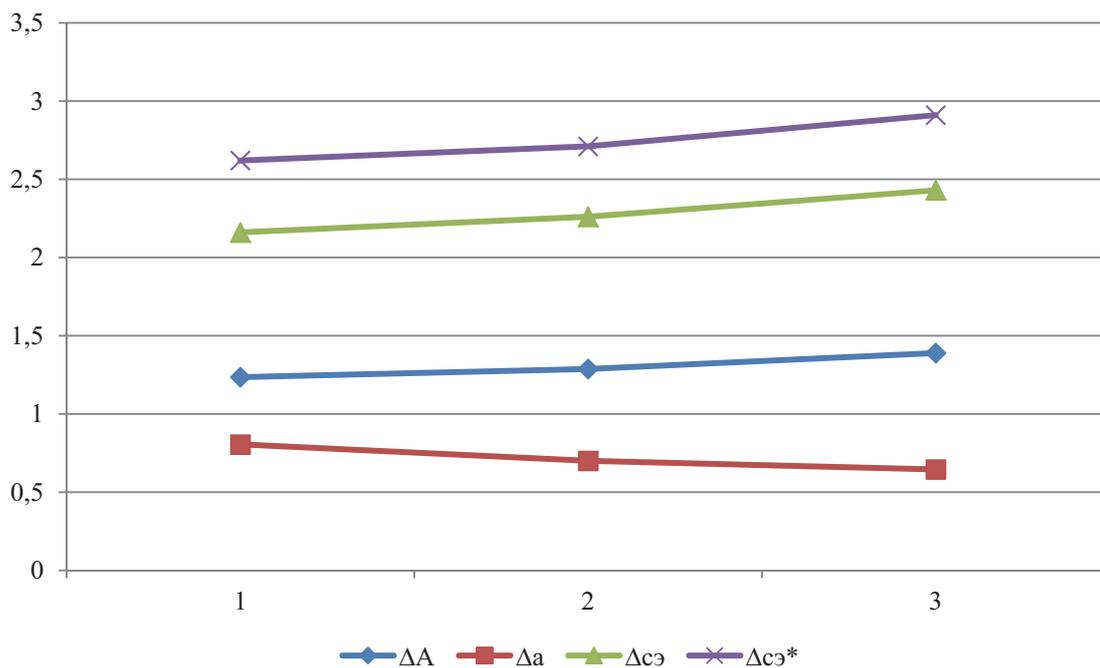


Рис. 2. Динамика приведенных энергетических параметров эффективности перевозочной работы электровозов 3ВЛ80С на участке Мароканд – Каттакурган

По оси ординат на рис. 1 и 2 приняты условные обозначения: ΔV_t – техническая скорость движения; Δt_x , Δt_r , $\Delta t_{xx,t}$ – время хода поезда, соответственно общее, в режимах тяги и холостого хода, торможения; ΔA и Δa – расход

электрической энергии за поездку и удельный; Δc_3 и Δc_3^* – удельная стоимость электрической энергии без учета налога на добавленную стоимость и с учетом налога на добавленную стоимость.

Следует отметить, что значения приведенных параметров показателей были определены для одной остановки грузового поезда. Для лучшего воспроизведения характера изменения приведенной величины удельного расхода электрической энергии и денежных затрат их значения были увеличены соответственно в пятьдесят (Δa) и десять ($\Delta c_3, \Delta c_3^*$) раз, а приведенные значения расхода электрической энергии за поездку (ΔA) были уменьшены в два раза (см. рис. 2).

Темп изменения (убывания или нарастания) значений приведенных параметров эффективности перевозочной работы исследуемых электровозов ЗВЛ80^с на участке Мароканд – Каттакурган в принятом нами диапазоне дифференциации на величину $\Delta Q = 500$ т массы составов (от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т) грузовых поездов приведен на рис. 3, где приняты следующие условные обозначения: V_T – техническая скорость движения; t_x, t_T и $t_{xx,T}$ – время хода поезда, соответственно общее, в режимах тяги, холостого хода и торможения; \mathcal{E}_3 – количественные и финансовые параметры энергетической эффективности перевозочной работы электровозов.

Анализ данных табл. 2 и диаграмм темпа убывания/нарастания показателей эффективности перевозочной работы трехсекционных магистральных

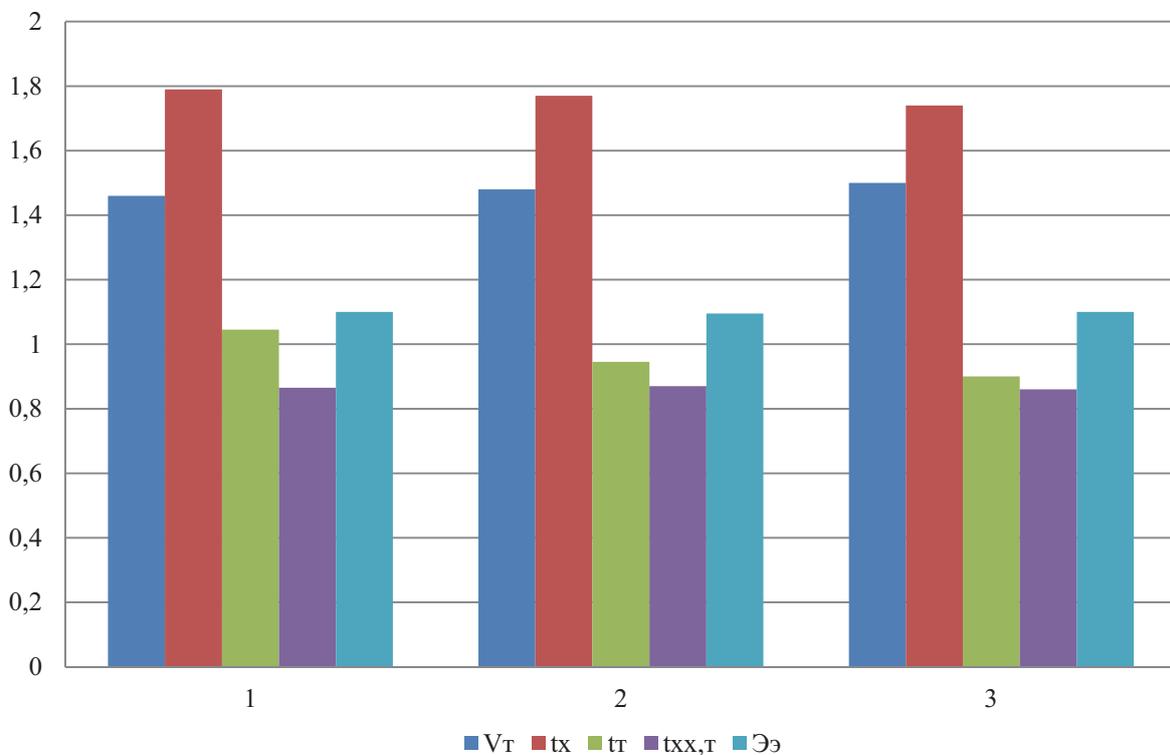


Рис. 3. Темп изменения приведенных параметров эффективности перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^с на участке Мароканд – Каттакурган

(поездных) грузовых электровозов ЗВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакур-ган свидетельствует о следующем.

1. С увеличением массы состава грузового поезда:

1.1. Темп изменения упомянутых выше значений параметров для всех количественных и финансовых показателей энергетической эффективности перевозочной работы не меняется и не зависит от вида параметра с учетом колебания в интервале 1,358 ($Q_1 = 2500$ т) – 1,354 ($Q_2 = 3000$ т) – 1,358 ($Q_3 = 3500$ т) единицы.

1.2. Уменьшение технической скорости V_T движения грузового поезда происходит с темпом нарастания, величина которого повышается от 0,903 ($Q_1 = 2500$ т) до 0,928 ($Q_3 = 3500$ т) единицы.

1.3. Средние значения темпа изменения по времени хода грузовых поездов для различных режимов работы энергосиловых установок исследуемых электровозов колеблются от 1,191 (режим тяги) единицы до 1,070 (режим холостого хода и торможения) единицы, а для общего времени движения поезда по участку они составляют 1,092 единицы.

2. С уменьшением массы состава грузового поезда:

2.1. Одинаковые величины темпа изменения параметров для всех видов количественных и денежных энергетических показателей эффективности перевозочной работы исследуемых электровозов для случая увеличения массы состава грузового поезда колеблются в интервале 1,358 ($Q_3 = 3500$ т) – 1,354 ($Q_2 = 3000$ т) – 1,358 ($Q_1 = 2500$ т) единицы.

2.2. Увеличивается техническая скорость V_T движения грузового поезда с темпом убывания от 0,928 ($Q_3 = 3500$ т) до 0,903 ($Q_1 = 2500$ т) единицы.

2.3. Темп нарастания по всем, без исключения, составляющим времени хода грузовых поездов на исследуемом участке повышается, увеличение его составляет в среднем приблизительно от 1,084 ($Q_3 = 3500$ т) до 1,158 ($Q_1 = 2500$ т) единицы.

Обработка параметров основных показателей энергетической эффективности перевозочной работы исследуемых электровозов ЗВЛ80^С на участке Мароканд – Каттакурган в среде Microsoft Excel Office позволила получить соответствующие аналитические выражения (уравнения регрессии), предназначенные для вычисления усредненных величин упомянутых параметров в реальных условиях организации грузового движения на реальном железнодорожном участке Мароканд – Каттакурган, реализуемого трехсекционными магистральными грузовыми электровозами серии З ВЛ80^С любой i -й массы состава Q_i грузового поезда с достаточной величиной достоверности аппроксимации $R^2 = 1,0$ (необходимое условие достоверности – $R^2 \geq 0,8$). Здесь фактор (показатель) $Q_i = 1, 2, 3$ – вариант тягового расчета.

Общее время хода поезда, мин:

$$t_x = 0,04Q_i^2 + 0,45Q_i + 49,81. \quad (1)$$

Время хода поезда на режиме тяги, мин:

$$t_{\tau} = 0,065Q_i^2 + 0,705Q_i + 7,65. \quad (2)$$

Время хода поезда на режиме холостого хода и торможения, мин:

$$t_{\text{хх,т}} = -0,025Q_i^2 - 0,255Q_i + 42,16. \quad (3)$$

Техническая скорость движения, км/ч:

$$V_{\tau} = -0,035Q_i^2 - 0,765Q_i + 74,14. \quad (4)$$

Общий расход электрической энергии за поездку, кВт·ч:

$$A = 12,465Q_i^2 + 42,075Q_i + 1453. \quad (5)$$

Удельный расход электрической энергии, Вт·ч/т·км брутто:

$$a = 0,23Q_i^2 - 1,9Q_i + 11,50. \quad (6)$$

Полные денежные затраты (без НДС), тыс. сўм:

$$C_{\text{э}} = 1,1715Q_i^2 + 3,3155Q_i + 126,73. \quad (7)$$

Приведенные денежные затраты (без НДС), тыс. сўм/км:

$$c_{\text{э}} = 0,0195Q_i^2 + 0,0525Q_i + 2,067. \quad (8)$$

Полные денежные затраты (с НДС), тыс. сўм:

$$C_{\text{э}}' = 1,3265Q_i^2 + 4,3695Q_i + 151,53. \quad (9)$$

Приведенные денежные затраты (с НДС), тыс. сўм/км:

$$c_{\text{э}}' = 0,021Q_i^2 - 0,074Q_i + 2,468. \quad (10)$$

Таким образом, динамика усредненных параметров основных показателей перевозочного процесса для заданных условий организации грузового движения на реальном железнодорожном участке Мароканд – Каттакурбан АО «Ўзбекистон темир йўллари», реализуемого трехсекционными магистральными грузовыми электровозами серии ЗВЛ80^с, в зависимости от изменения массы состава грузового поезда подчиняется полиномиальному закону.

Заключение

В статье предложена методика обоснования параметров и приведены результаты исследования тягово-энергетической эффективности использования магистральных грузовых локомотивов электрической тяги в разных условиях организации грузового движения на одном из реальных, в настоящее время активно действующем, электрифицированном участке узбекских железных дорог.

Теоретическими составляющими данной методики являются разработанные модели ведения грузового поезда с различными массами состава трехсекционными магистральными грузовыми электровозами серии ЗВЛ80^С на заданном железнодорожном участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» и алгоритм реализации сформулированной выше задачи исследований.

Анализ результатов теоретических исследований [1–7] зарубежных ученых показал, что внедрение их разработок с учетом практических рекомендаций наших специалистов в перевозочную работу электрического подвижного состава на электрифицированных участках узбекских железных дорог позволит оптимизировать режимы токосъема, что несомненно обеспечит высокую надежность всех устройств контактной сети и токоприемников для заданных условий эксплуатации.

Полученные автором кинематические и энергетические параметры эффективности перевозочной работы трехсекционных магистральных грузовых электровозов серии ЗВЛ80^С для разнообразных условий организации грузового движения на реальном железнодорожном участке Мароканд – Каттакурган, уравнения регрессии по их определению рекомендуются для внедрения в практику работы локомотивных депо Самарканд и Бухара АО «Ўзбекистон темир йўллари». Кроме того, машинисты – инструкторы по теплотехнике и другие сотрудники цеха эксплуатации локомотивного депо, связанные с вопросами экономии топливно-энергетических ресурсов, могут использовать их при прогнозировании и нормировании расхода электрической энергии на тягу поездов.

Результаты наших исследований будут также полезны специалистам локомотивного комплекса, имеющим непосредственное и прямое отношение к вопросу энергосберегающих технологий по организации эксплуатации и управлению тяговым электрическим подвижным составом с учетом рациональных режимов введения их на действующих участках узбекских железных дорог. Практическая же составляющая приведенной работы, с учетом рекомендаций [17], будет способствовать улучшению динамики протекания электромагнитных процессов, происходящих в тягово-энергетическом оборудовании локомотивов электрической тяги.

Библиографический список

1. Ma D. Analysis of Overvoltage Transient State Process of De-energized Passage of Neutral Section Insulator / D. Ma. – Cheng Du : South West JiaoTong University, 2008.
2. Zhang X. Y. Research on Overvoltage Mechanism and Prevention in the Network- Locomotive Coupling of the High-Speed and Heavy Haul Railways / X. Y. Zhang. – Cheng Du : South West JiaoTong University, 2009.
3. Liu Y. J. Mayr's Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System / Y. J. Liu, G. W. Chang, H. M. Huang // IEEE Transactions on Power Delivery. – 2010. – Vol. 25. – N 3. – Pp. 2025–2027.
4. Fang Z. G. Application of Transient Overvoltage Suppression Technique for EMU Auto-passing the Neutral Section with On-board Switch Closed / Z. G. Fang // Railway Technical Innovation. – 2010. – Vol. 1. – N. 1. – Pp. 44–46.
5. He Z. Y. Research on the Harmonic in High-speed Railway Traction Power Supply System and Its Transmission Characteristic / Z. Y. He, H. T. Hu, L. Fang // Proceedings of the CSEE. – 2011. – Vol. 31. – N 16. – Pp. 55–62.
6. Li G. J. Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU / G. J. Li, X. Y. Feng, L. J. Wang // Transactions of China Electrotechnical Society. – 2007. – Vol. 22. – N 7. – Pp. 181–185.
7. Wen J. M. Research and Using on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU / J. M. Wen, B. T. Wang, Z. J. Fang // Railway Standard Design. – 2011. – N 4. – Vol. 4. – Pp. 104–108.
8. Электровоз с приводом переменного тока «O'zbekiston». Описание использования и содержания электровоза с приводом переменного тока для Узбекистана / Технический центр при Чжучжоуском электровозостроительном заводе. – CSR : ЧЭВЗ, 2003. – 714 с.
9. Абляимов О. С. Исследование перевозочной работы электровозов ЗВЛ80^с на холмисто-горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья : научно-технический журнал. – 2016. – № 5 (59). – С. 15–22.
10. Деев В. В. Тяга поездов : учеб. пособие для вузов / В. В. Деев, Г. А. Ильин, Г. С. Афонин. – М. : Транспорт, 1987. – 264 с.
11. Кузьмич В. Д. Теория локомотивной тяги : учебник для вузов железнодорожного транспорта / В. Д. Кузьмич, В. С. Руднев, С. Я. Френкель. – М. : Маршрут, 2005. – 448 с.
12. Абляимов О. С. К исследованию эксплуатации электровозов на холмисто-горном участке железной дороги / О. С. Абляимов, А. П. Вохидов, И. Р. Омонов // XI Международная научно-практическая конференция «Локомотивы. Газомоторное топливо (Проблемы. Решения. Перспективы)». – Самара : Самарский гос. ун-т путей сообщения, 2016. – С. 37–42.
13. Абляимов О. С. К эксплуатации электровозов ЗВЛ80^с на участке Мароканд – Каттакурган АО «Ўзбекистон темир йўллари» / О. С. Абляимов // Вторая Международная научно-практическая конференция «Повышение энергетической эффективности наземных транспортных систем». – Омск : Омский гос. ун-т путей сообщения, 2016. – С. 43–47.

14. Абляимов О. С. Анализ эффективности использования локомотивной тяги на равнинном на участке железной дороги / О. С. Абляимов // Известия Транссиба : научно-технический журнал. – 2015. – № 4 (24). – С. 2–11.
15. Абляимов О. С. Исследование эксплуатации тепловозов UzTE16M3 на холмисто-горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» / О. С. Абляимов // Вестник транспорта Поволжья : научно-технический журнал. – 2016. – № 3 (57). – С. 16–22.
16. Абляимов О. С. Основы управления локомотивов : учебник для профессиональных колледжей железнодорожного транспорта / О. С. Абляимов, Э. С. Ушаков. – Ташкент : Davr, 2012. – 392 с.
17. Li N. Research on Electromagnetic Transient Process of Electric Locomotive System / N. Li. – Beijing : Beijing Jiaotong univerisity, 2010.

Oleg S. Ablyalimov

«Lokomotives and locomotive economy» department
Tashkent institute of railway engineering, Uzbekistan

Analysis of transportation working by 3VL80^s electric locomotives on Marokand – Kattakurgan railway area in operational conditions

The research is about operational traction-energy effectiveness of freight cargo locomotives in one of railway areas of Uzbek railways. The research results are based on theory of locomotive tractions method, according to parameters of triple unit 3ВЛ80^с freight cargo electric locomotives in nonstop and stoppage modes in intermediate stations, passing tracks, and separate points in operating Marokand – Kattakurgan railway area of Samarkand – Navoi – Bukhara direction of «Uzbekiston railways» JSC. Whereas, research methods include design of mathematical model of freight trains operation by above mentioned electric locomotives in operating railway area, furthermore, conducting series of traction calculations for different conditions of organization of freight cargo in the given railway area. The results of freight train kinematics parameters and indicators of traction-energy effectiveness of researched freight cargo 3ВЛ80^с electric locomotives on above-mentioned two types of train operation modes, which are organized in railway hauls of Marokand – Kattakurgan railway area are given in forms of table, graphic dependency, and regression equation. The regression equation is intended to calculate the averaged value of kinematics and energy (in terms of amount and money) parameters of main operating effectiveness indicators of tested electric locomotives in the given Marokand – Kattakurgan railway area of Uzbek railways considering any i train weight of freight train with adequate approximation value. Practical importance of research results is defined by the perspective of indispensable use by heat-engineering train-coaches, specialists of line locomotive sector,

and other structural units of «Uzbekiston railways» JSC, because, professional and production activity of the these units are immediately and directly depends on organization of railway transit and points of electric energy traction efficiency of trains.

intermediate station; freight train; separate point; freight cargo electric locomotive; railway track; rolling stock; railway area; kinematic parameter; graphic dependency; energy parameter; theory of locomotive tractions; electric energy; uzbek railway

References

1. Ma D. (2008). Analysis of Overvoltage Transient State Process of De-energized Passage of Neutral Section Insulator. Cheng Du, South West JiaoTong University.
2. Zhang X. Y. (2009). Research on Overvoltage Mechanism and Prevention in the Network-Locomotive Coupling of the High-Speed and Heavy Haul Railways. Cheng Du, South West JiaoTong University.
3. Liu Y. J., Chang G. W., Huang H. M. (2010). Mayr's Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, N 3. – Pp. 2025–2027.
4. Fang Z. G. (2010). Application of Transient Overvoltage Suppression Technique for EMU Auto-passing the Neutral Section with On-board Switch Closed. Railway Technical Innovation, vol. 1. – Pp. 44–46.
5. He Z. Y., Hu H. T., Fang L. (2011). Research on the Harmonic in High-speed Railway Traction Power Supply System and Its Transmission Characteristic. Proceedings of the CSEE, vol. 31, N 16. – Pp. 55–62.
6. Li G. J., Feng X. Y., Wang L. J. (2007). Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU. Transactions of China Electrotechnical Society, vol. 22, N 7. – Pp. 181–185.
7. Wen J. M., Wang B. T., Fang Z. J. (2011). Research and Using on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU. Railway Standard Design, N 4, vol. 4. – Pp. 104–108.
8. Alternative current drive locomotive «O'zbekiston» (2003). Description about of use and content of alternative current drive locomotive for Uzbekistan. Engineering centre attached the Chzhuchzhou electric locomotives building plant [Opisanie ob ispol'zovanii i sodержanii elektrovoza s privodom peremennogo toka dlia Uzbekistana. Technicheskii centr pri Chzhuchzhouskom elektrovozostroitel'nom zavode]. CSR, ChEVZ. – 714 p.
9. Ablyalimov O. S. (2016). Researching a movement work of 3VL80S electric locomotives on a hilly – mountainous district of «Uzbekiston railways» JSC [Issledovanie perevozochnoi raboty elektrovozov 3VL80S na holmisto – gornom uchastke AO «Uzbekiston temir yullari»]. Vestnik transporta Povolzh'ia – Bulletin of the Volga transport, N 5 (59). – Pp. 15–22.
10. Deev V. V., Il'in G. A., Aphonin G. S. (1987). Traction trains: Educational equipment for institute of higher education [Tiaga poezdov]. Moscow, Transport. – 264 p.

11. Kuzmich V. D., Rudnev V. S., Frenkel' S. Ia. (2005). Locomotive traction theory. Textbook for institute of higher education of railway transport [Teoriia lokomotivnoi tiagi]. Moscow, Marshrut. – 448 p.
12. Ablyalimov O. S., Voxidov A. P., Omonov I. R. (2016). To research of operation of electric locomotives on a hilly-mountainous direction of railway [K issledovaniyu ekspluatatsii elektrovozov na holmisto-gornom uchastke zheleznoi dorogi]. XI Mezhdunarodnaia nauchno-practiicheskaia konferentsiia «Locomotivy. Gazomotornoe toplivo (Problemy. Resheniia. Perspektivy)». Samara. – Pp. 37–42.
13. Ablyalimov O. S. (2016). To the operation of 3VL80S electric locomotives on the Marokand – Kattakurgan direction of «Uzbekiston railways» JSC [K ekspluatatsii elektrovozov 3VL80S na uchastke Marokand – Kattakurgan AO «Uzbekiston temir yullari»]. Vtoraia mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia «Povyshenie energeticheskoi effektivnosti nazemnykh transportnykh sistem». Omsk. – Pp. 43–47.
14. Ablyalimov O. S. (2015). The analyses of efficiency of use of the locomotive tractions on the plainly direction of railway track [Analiz effektivnosti ispol'zovaniia lokomotivnoi tiagi na ravninnom uchastke zheleznoi dorogi]. Izvestiya Transsiba – The journal of Transsib Railway Studies, N 4 (24). – Pp. 2–11.
15. Ablyalimov O. S. (2016). Research UzTE16M3 diesel locomotives operating on a hilly – mountainous direction of «Uzbekiston railways» JSC [Issledovanie ekspluatatsii teplovozov 3TE10M na holmisto – gornom uchastke AO «Uzbekiston temir yullari»]. – Bulletin of the Volga transport [Vestnik transporta Povolzh'ia], N 3 (57). – Pp. 16–22.
16. Ablyalimov O. S., Ushakov E. S. (2012). Basics of locomotives, textbook for professional colleges of railway transport [Osnovy upravleniia lokomotivov. Uchebnik dlia professional'nykh kolledzhei zheleznodorozhnogo transporta]. Tashkent, Davr. – 392 p.
17. Li N. (2010). Research on Electromagnetic Transient Process of Electric Locomotive System. Beijing, Beijing Jiaotong univerisity.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии И. М. Кокуриным
Поступила в редакцию 10.01.2017, принята к публикации 03.02.2017*

АБЛЯЛИМОВ Олег Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта.
e-mail: i.gulzarova@gmail.com или o.ablyalimov@gmail.com

© Аблялимов О. С., 2017