



ISSN 2222-9396 (Print)
УДК 629.42:629.43:625.3
<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-18-28>

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ ТЕПЛОВЗОВ *UZTE16M3* И ТЯГОВЫЕ КАЧЕСТВА ПРОФИЛЯ ПУТИ УЧАСТКА МАРОКАНД – НАВОИ УЗБЕКСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

Аблялимов О.С.^{1*}

¹ Ташкентский государственный транспортный университет,
г. Ташкент, Республика Узбекистан
*E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

Аннотация. В статье представлена задача обоснования топливно-энергетической эффективности использования магистральных локомотивов дизельной тяги на реальном, холмисто-горном участке Узбекской железной дороги. Задача решается с применением методов теории локомотивной тяги для различных условий организации эксплуатационной деятельности трёхсекционных магистральных (поездных) грузовых тепловозов *UZTE16M3* при вождении грузовых поездов разной массы составов. Основными критериями исследования являются кинематические параметры движения грузовых поездов и параметры энергоёмкости исследуемых тепловозов серии *UZTE16M3* на рассматриваемом участке. Учитываются приведённые значения общего и удельного расходов натурального дизельного топлива на тягу поездов в количественном и денежном исчислении, приведённое время хода поезда в режиме тяги и удельный расход натурального дизельного топлива за поездку. Установлены кинематические параметры и энергетические показатели перевозочной работы исследуемых тепловозов на реальном, холмисто-горном участке Мароканд – Навои Узбекской железной дороги при движении грузовых поездов без остановок и с остановками на отдельных пунктах. Определены значения критерия тягового качества (свойства) профиля пути по каждому перегону рассматриваемого участка. Получены основные показатели топливно-энергетической эффективности эксплуатации исследуемых тепловозов. Результаты исследований рекомендуются машинистам-инструкторам и специалистам линейных предприятий локомотивного комплекса сети Узбекских железных дорог для практического использования.

Ключевые слова: грузовой поезд, тепловоз, *UZTE16M3*, участок железнодорожного пути, эксплуатация, железнодорожная станция, перегон, профиль пути, эффективность

©Аблялимов О.С., 2021

Поступила: 14 июля 2020 г.; Принята к публикации: 29 ноября 2021 г.; Опубликовано: 30 декабря 2021 г.

Для цитирования:

Аблялимов О.С. Исследование эффективности перевозочной работы тепловозов *UZTE16M3* и тяговые качества профиля пути участка Мароканд – Навои Узбекской железной дороги // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2021. Т.11. №1. С.18-28. <https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-18-28>



Это произведение доступно по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 Всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



ISSN 2222-9396(Print)

<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-18-28>

RESEARCH OF THE EFFICIENCY OF LOCOMOTIVE *UzTE16M3* OPERATION AND TRACTIVE QUALITIES OF THE RAIL TRACK PROFILE MAROKAND – NAVOI LINE OF UZBEK RAILWAY

Abliyalimov O.S.^{1*}¹ Tashkent State Transport University, Tashkent, Republic of Uzbekistan*E-mail: o.ablyalimov@gmail.com

Abstract. The article presents the problem of substantiating the fuel and energy efficiency of the use of diesel-powered mainline locomotives on a real, hilly-mountainous section of the Uzbek railway. The problem is solved using the methods of the theory of locomotive traction for various conditions of organizing the operational activities of three-section mainline freight diesel locomotives *UzTE16M3* when driving freight trains of different mass. The main research criteria are the kinematic parameters of the movement of freight trains and the parameters of the energy intensity of the investigated diesel locomotives of the *UzTE16M3* series in the line under consideration. The given values of the total and specific consumption of natural diesel fuel for traction of trains in quantitative and monetary terms, the reduced travel time of the train in traction mode and the specific consumption of natural diesel fuel per trip are considered. The kinematic parameters and energy indicators of the transportation work of the investigated diesel locomotives on the hilly-mountainous section of the Marokand – Navoi of the Uzbek railway was established during the movement of freight trains without stops and with stops at separate points. The values of the traction quality criterion (properties) of the track profile for each section of the section under consideration were determined. The main indicators of the fuel and energy efficiency of operation of the investigated diesel locomotives in operation are obtained. The research results are recommended for instructor drivers and specialists of linear enterprises of the locomotive complex of the Uzbek Railways network for practical use.

Keywords: freight train, diesel locomotive, *UzTE16M3*, section of railway line, operation, rail yard, track profile, efficiency

© Abliyalimov O.S., 2021

Received: July 14, 2020; Accepted: November 29, 2021; Published: December 30, 2021

For citation:

Abliyalimov O.S. Research of the Efficiency of Locomotive *UzTE16M3* Operation and Tractive Qualities of the Rail Track Profile Marokand – Navoi Line of Uzbek Railway // Modern Problems of Russian Transport Complex. 2021, vol.11, no.1, pp.18-28. <https://doi.org/10.18503/2222-9396-2021-11-1-18-28>



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 International Public License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Введение

Вопросы эффективности перевозочной работы с применением тепловозной тяги в разнообразных условиях эксплуатации затрагивают часть общей проблемы повышения топливно-энергетической эффективности использования магистрального тягового подвижного состава на различных участках железных дорог.

Эксплуатируемый («рабочий») парк локомотивов железнодорожной отрасли Узбекистана не является однородным и различается по сериям, типам (видам), тягово-эксплуатационным характеристикам, затратам энергии на выполнение работы.

В настоящее время приблизительно 54% всех секций локомотивного парка приходится на магистральные (поездные) тепловозы, из которых около 30% секций составляют тепловозы серии *UzTE16M* [1]. Сказанное необходимо дополнить тем, что повсеместная и активная электрификация узбекских железных дорог никак не влияет на востребованность в тепловозной тяге, которая находится на довольно высоком производственно-техническом уровне.

Поэтому весьма актуальным является повышение эффективности использования тепловозного локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари» (Узбекская железная дорога) при осуществлении железнодорожных перевозок грузов и пассажиров на различных по сложности (трудности) участках железных дорог.

Повышение эффективности использования магистральных (поездных) грузовых тепловозов достигается в результате комплексного подхода к разработкам рекомендаций и мероприятий, практическая реализация которых будет направлена на экономное расходование топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. Целью исследования является проведение теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации параметров перевозочной работы тепловозов и оценке эффективности использования ресурсосберегающих технологий в управлении режимами работы их силовых энергетических установок (систем) в реальных условиях организации эксплуатации.

Достаточно большой опыт в этом направлении накоплен и реализован на практике сотрудниками кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Ташкентского государственного транспортного университета совместно со специалистами локомотивного комплекса «Узбекская железная дорога».

2. Постановка задачи исследования

Проблема повышения эффективности перевозочной работы локомотивов дизельной и электрической тяги в реальных условиях организации разных видов движения является одной из основных задач топливно-энергетической эффективности магистрального тягового подвижного состава на отдельных участках железных дорог. Эту проблему можно решить различными организационно – техническими, конструктивными и технологическими путями.

Высокую эксплуатационную надёжность узлов, систем и агрегатов локомотивов в пути следования авторы исследований [2–4] предлагают обеспечить не только путём дальнейшего совершенствования сервис-

ного технического обслуживания и ремонта локомотивов, но также использованием современных разработок электротехнической промышленности и компьютерных технологий в условиях эксплуатации.

Изучению возможностей снижения расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов посвящены работы [5, 6], в которых предлагается экономиию натурального дизельного топлива тепловозами и электрической энергии тяговым электроподвижным составом осуществлять посредством оптимизации режимов эксплуатации силовых энергетических установок (систем) локомотивов дизельной и электрической тяги.

Процессу передачи электрической энергии от контактного провода к оборудованию тягово-энергетической системы движущегося электрического подвижного состава, через токоприёмник (пантограф) со скользящим электрическим контактом в области изоляторов и нейтральных вставок контактной сети применительно к высокоскоростным железнодорожным магистралям, посвящены работы [7, 8]. Авторы данных работ рекомендуют улучшить (повысить) качественную составляющую процесса токосъёма как за счёт оптимизации режимов токосъёма, путём нормирования верхнего и нижнего пределов контактного нажатия, так и посредством использования механических и электрических средств защиты от возникновения при этом всякого рода резонансных явлений.

Авторы исследований [9, 10] рекомендуют использовать нормально – разомкнутые секционные разъединители с ручным приводом и заземляющим ножом при вынужденной остановке поезда под нейтральной вставкой с целью его вывода из этого места для временной подачи напряжения на нейтральную вставку со стороны направления движения поезда.

Результаты исследований [2–10] имеют определённый научный интерес и практическую значимость, однако они носят теоретический характер и не позволяют определить эффективность использования тягового подвижного состава применительно к реальным условиям организации грузового движения на железнодорожных участках Узбекской железной дороги с учётом степени сложности продольного профиля путей. Под степенью сложности понимается уровень тягового качества профиля пути, который характеризуется расположением и общей протяжённостью продольных уклонов, величиной уклонов, последовательностью расположения уклонов элементов профиля и кривизной пути.

Основными показателями перевозочной деятельности локомотивов на различных режимах работы их силовых энергетических установок являются кинематические параметры движения поезда (скорости движения, время хода поезда на исследуемом участке) и параметры энергетической эффективности самих локомотивов в виде полного и удельного расходов дизельного топлива или электрической энергии на тягу поездов.

Характер кинематических параметров движения поезда, режим работы силовых энергетических установок (систем) локомотивов и расходы дизельного топлива и электрической энергии на тягу напрямую зависят от степени сложности профиля пути железной дороги, основным критерием которой являются, так

называемые, тяговые качества или тяговые свойства [11].

Настоящее исследование является логическим продолжением работы [12] и касается локомотивов дизельной тяги, при помощи которых осуществляется (организуется) технологический процесс движения грузовых поездов на участке Мароканд – Навои Узбекской железной дороги.

Цель исследования заключается в обосновании основных показателей перевозочной работы тепловозов серии *UZTE16M3* и определении влияния реальных условий организации железнодорожных перевозок грузов на значения упомянутых выше показателей, характеризующих тяговые качества профиля пути данного участка.

Объектами исследования являются магистральные (поездные) грузовые трёхсекционные тепловозы *UZTE16M3* и спрямлённый профиль пути реального, холмисто-горного участка Мароканд – Навои Узбекской железной дороги, состоящего из семи железнодорожных перегонов: Мароканд – Джума, Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган, Каттакурган – Разъезд №28, Разъезд № 28 – Зиёвуддин, Зиёвуддин – Навои.

Предмет исследования – основные показатели перевозочной работы и параметры топливно-энергетической эффективности использования исследуемых тепловозов *UZTE16M3* с учётом приведённых расходов дизельного топлива на тягу поездов в количественном и денежном исчислении на заданном холмисто-горном участке железной дороги.

Методика исследований, опираясь на широко известные методы теории локомотивной тяги [13, 14] и исходные данные [12], заключается в разработке математических моделей выбора параметров движения (ведения) грузового поезда магистральными (поездными) грузовыми трёхсекционными тепловозами *UZTE16M3* на холмисто-горном участке Мароканд – Навои Узбекских железных дорог. Основной базовой составляющей данных исследований являются тягово-эксплуатационные свойства и разнообразные условия организации перевозочной работы исследуемых тепловозов *UZTE16M3* на спрямлённом профиле пути заданного (принятого) участка. Ниже обозначим характеристику рассматриваемого профиля пути и постоянные ограничения скоростей движения грузовых поездов на перегонах и по станционным путям холмисто-горного участка железной дороги при проследовании или приёме этих поездов на главный или приёмоотправочный железнодорожные пути для обоснования основных показателей перевозочной работы тепловозов серии *UZTE16M3* [12, 15].

Участок железнодорожного пути Мароканд – Навои протяжённостью в 140.5 километров содержит девяносто девять элементов, из которых пятьдесят семь и тридцать девять элементов характеризуются изменением крутизны, соответственно, подъёмов от 0 до +4.46‰ и спусков от 0 до -5.9‰, а три элемента – «площадки». Упомянутый участок «холмисто-горный» – III-й тип профиля пути, так как здесь доля элементов профиля пути с крутизной уклонов в интервале от +3.0‰ до -3.0‰, включая площадки $i = 0$, составляют около 40% от общей длины рассматриваемого участка.

Железнодорожный участок пути Мароканд – Навои имеет пять промежуточных станций, на которых ограничение по скорости движения составляет $V^{oc} = 80$ км/ч (ст. Джума), $V^{oc} = 60$ км/ч (ст. Нурбулак, ст. Каттакурган, ст. Зиёвуддин) и $V^{oc} = 40$ км/ч (ст. Зиёвуддин) и шесть отдельных пунктов (разъездов) с ограничениями скорости движения $V^{oc} = 60$ км/ч на разъездах №№24, 28, 29. Кроме этого, на перегоне Мароканд – Джума и Нурбулак – Каттакурган имеется по одному ограничению по скорости движения в $V^{oc} = 80$ км/ч и по два таких же ограничения по скорости движения грузовых поездов имеет каждый из перегонов Джума – Разъезд №24 и Каттакурган – Разъезд №28. При этом наибольшая скорость движения грузового поезда составляет $V^{max} = 90$ км/ч.

Конструктивными отличиями магистральных (поездных) грузовых трёхсекционных тепловозов *UZTE16M3* являются [12]: новая силовая энергетическая установка–дизель-генератор 1А-9ДГ с дизелем 1А-5Д49, микропроцессорная система регулирования мощности дизель-генератора УСТА-75-02 (унифицированная система тепловозной автоматики), система КЛЮБ-У (комплексное локомотивное устройство безопасности), унифицированный пульт управления УПУ. Для обеспечения управления и контроля параметров на четырёх секциях в электрической схеме базового тепловоза *UZTE16M2* внесены изменения в соединениях интерфейсов и пультов управления каждой секции, а также систем подготовки пуска, пуска дизеля и пожарной сигнализации. Дизель 1А-5Д49 отличается от дизеля 10Д100 экономичностью: удельный расход топлива у дизеля 1А-5Д49 третьего исполнения на режиме номинальной мощности (2206 кВт) составляет 208 г/кВт-ч, в режиме холостого хода расход топлива – 14 кг/ч. Аналогичные параметры для дизеля 10Д100 составляют 226 г/кВт-ч и 22,8 кг/ч.

Согласно [16], тяговые качества (свойства) профиля и трассы железнодорожной линии оказывают существенное влияние на расход дизельного топлива и электрической энергии локомотивами, производительность железной дороги, стоимость железнодорожных перевозок грузов и пассажиров, а для оценки степени трудности профиля пути авторы [17, 18] предлагают использовать виртуальные (эквивалентные) характеристики профиля пути. Виртуальная характеристика профиля пути – есть безразмерная величина, которая представляет собой отношение значения рассматриваемого основного показателя перевозочной работы локомотива на данном элементе профиля пути к значению его на прямом и горизонтальном участке пути такой же протяжённости.

В связи с тем, что изменение механической работы и расход дизельного топлива, затрачиваемого на перемещение поезда по исследуемому участку, взаимосвязаны между собой прямо пропорционально [19], их количественная составляющая напрямую зависит от длины (протяжённости) перегона или участка железной дороги в целом. В этом случае, количественная составляющая будет представлять собой некий «сосредоточенный» (общий или полный) за поездку параметр и поэтому большей механической работе будет соответствовать и больший расход натурального дизельного топлива.

3. Результаты исследования и их анализ

Достижение цели исследования осуществлялось посредством выполнения серии тяговых расчётов на холмисто-горном участке Мароканд – Навои для трёх различных условий перевозочного процесса. Вождение грузовых поездов с разными массами составов в диапазоне от $Q_1 = 2500$ т до $Q_3 = 3500$ т и дифференциацией изменения их на величину $\Delta Q = 500$ т, а также постоянным числом осей $m = 200$ осей, организовывалось тепловозами *UzTE16M3* без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Энергетика перевозочного процесса грузового поезда будет зависеть от характера движения, который может быть ускоренным, равномерным с постоянной скоростью или замедленным, и будет напрямую зависеть от крутизны уклонов (подъёма или спуска) элементов профиля пути, их величины и той или иной чередующейся последовательностью. Каждый из этих видов движения грузового поезда предполагает макси-

мальное (наибольшее) использование мощности и тягово-эксплуатационных свойств (качеств) локомотива, что для тепловоза *UzTE16M3* соответствует 15-й позиции контроллера машиниста в диапазоне скоростей от 19 км/ч (скорость выхода на автоматическую характеристику) до 100 км/ч согласно тяговой характеристике тепловоза.

Анализ результатов выполненных тяговых расчётов для различных условий организации движения грузовых поездов на участке Мароканд – Навои показывает, что при работе тепловозов *UzTE16M3* на 15-й позиции контроллера машиниста, в сочетании с режимами холостого хода и торможения, преобладает ускоренное и замедленное движение, а движение с постоянной скоростью (равномерное движение) практически отсутствует.

Расчётные значения «чистого» времени хода грузового поезда по перегонам и на разгон-замедление по промежуточным станциям, разъездам и отдельным пунктам упомянутого участка представлены в **табл.1**.

Таблица 1. Расчётное время хода грузового поезда на участке Мароканд – Навои по перегонам и промежуточным станциям, разъездам и отдельным пунктам при замедлении – ускорении

Table 1. Estimated travel time of a freight train on the Marokand – Navoi line along hauls and intermediate rail yards

Станция	Длина перегона до предыдущей станции, км	Масса состава, т					
		2500	3000	3500	2500	3000	3500
		Время хода по перегонам, мин			Время хода при замедлении/ускорении, мин		
Мароканд	–	–	–	–	–/2.00*	–/2.00*	–/2.00*
Джума	8.75	7.80	7.70	8.10	1.70/1.50	1.70/1.50	2.00/1.30
Нурбулак	29.00	22.00	22.25	22.65	1.65/1.15	1.85/1.00	2.00/1.25
Катгакурган	24.00	20.90	21.35	20.60	1.70/0.90	1.80/0.90	2.30/1.05
Рзд № 28	11.25	10.70	10.95	10.65	1.25/0.70	1.35/0.80	1.80/0.95
Зирабулак	16.85	14.80	15.55	15.40	1.90/1.40	2.20/1.35	1.80/1.60
Зиёвуддин	27.15	19.50	18.95	19.60	1.90/2.00	1.80/1.55	1.80/2.50
Навои	23.50	16.90	16.65	16.80	1.60/–	1.85/–	2.10/–
Итого	140.5	112.60	113.40	113.80	1.67°/1.38°	1.79°/1.30°	1.97°/1.52°

* – время ускорения по станции Мароканд, которое принято аналогично [20] и входит во время хода по перегону Мароканд – Джума;

° – средние значения времени на замедление (торможение) и ускорение (разгон) при остановках грузового поезда на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

Анализ данных **табл. 1** в сравнении с унифицированным (графиковым) грузовым поездом с массой состава 3000 т, показывает следующее.

1. Общее время хода поезда при движении без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах зависит от изменения массы состава. Уменьшение массы состава на $\Delta Q = 500$ т (~20%) приводит к уменьшению общего времени хода поезда на 0.705%, а с увеличением массы состава на $\Delta Q = 500$ т (~20%) происходит увеличение времени на 0.353%.

2. Усреднённые расчётные значения времени разгона и замедления грузового поезда с унифицированной массой состава 3000 т составляют, соответственно, 1.3 и 1.79 минуты.

3. Уменьшение или увеличение массы состава на величину 500 т увеличивает время на разгон поезда, в обоих случаях, соответственно, приблизительно на 6.15 и 16.92%, а время на замедление поезда при этом, в

первом случае уменьшается на 6.70%, а во втором случае оно увеличивается на 10.05%.

4. Расход натурального дизельного топлива на один разгон-замедление грузового поезда с унифицированной массой состава 3000 т равен 30.69 кг, а усреднённый (то есть, среднеарифметический для трёх масс состава грузового поезда) упомянутый расход, в среднем, составляет 32.99 кг.

В **табл. 2** и **табл. 3** приведены результаты расчётов усреднённых значений, соответственно, кинематических и расходных параметров основных показателей перевозочной работы тепловозов *UzTE16M3* при движении грузовых поездов по перегонам холмисто-горного участка Мароканд – Навои без остановок и с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах.

На **рис. 1** и **рис. 2**, соответственно, представлены графики зависимостей изменения кинематических параметров движения грузовых поездов и параметров

показателей энергетической эффективности исследуемых тепловозов UZTE16M3 на холмисто-горном участке Мароканд – Навои для двух (обоих) видов движения. По оси абсцисс приняты обозначены перегоны, номера которых соответствуют нумерации в табл. 2, 3. На рис. 1 используются следующие обозначения: V – техниче-

ская скорость; t_п – время хода поезда общее по перегону; t_т – время хода в режиме тяги без остановок; t_{хх,т} – время хода в режиме холостого хода и торможения без остановок. Обозначения без штриха соответствуют параметрам движения поезда без остановок на отдельных пунктах, со штрихом – с остановками.

Таблица 2. Кинематические показатели движения грузовых поездов на разных режимах работы силовых энергетических установок тепловозов UZTE16M3 на участке Мароканд – Навои

Table 2. Kinematic indicators of the movement of freight trains at different operating modes of power plants of diesel locomotives UzTE16M3 on the Marokand – Navoi line

№	Перегон	Техническая скорость, V _T , км/ч	Распределение времени хода поезда (без остановок / с остановками на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах), мин		
			общее по перегонам участка t _п	в режимах	
				тяги t _т	холостого хода и торможения t _{хх,т}
1	Мароканд - Джума	69.25/56.08	7.88/9.73	4.66/4.67	3.22/5.06
2	Джума - Нурбулак	76.65/67.22	22.32/25.45	4.84/8.00	17.48/17.45
3	Нурбулак - Каттакурган	69.11/60.39	20.97/24.00	4.45/6.38	16.52/17.62
4	Каттакурган – Рзд. № 28	62.72/57.69	10.78/11.72	3.67/5.14	7.11/6.58
5	Рзд. № 28 - Зирабулак	69.32/61.43	15.27/17.23	9.55/9.15	5.72/8.08
6	Зирабулак - Зиёвуддин	82.79/70.87	19.37/22.63	6.10/6.86	13.27/15.76
7	Зиёвуддин - Навои	84.62/70.13	16.80/20.27	5.27/8.52	11.53/11.75
8	Мароканд - Навои	74.66/64.61	113.39/131.03	38.54/48.73	74.85/82.30

Таблица 3. Расход натурального дизельного топлива и затраты денежных средств тепловозами UZTE16M3 при движении грузовых поездов по перегонам участка Мароканд – Навои

Table 3. Consumption of diesel fuel and expenditures of funds by UzTE16M3 diesel locomotives during the movement of freight trains on the tracks of the Marokand – Navoi line

№	Перегон	Без остановок на отдельных пунктах			С остановками на отдельных пунктах		
		Общий (полный) за поездку E, кг	Удельный за поездку e, кг/10 ⁴ ткм брутто	Приведённые затраты c _т , с _{ум} /км	Общий (полный) за поездку E, кг	Удельный за поездку e, кг/10 ⁴ ткм брутто	Приведённые затраты c _т , с _{ум} /км
1	Мароканд - Джума	107.92	39.86	21007	109.20	40.34	21257
2	Джума - Нурбулак	121.54	14.39	7546	193.24	22.89	12000
3	Нурбулак - Каттакурган	112.19	15.71	8222	156.74	21.92	11488
4	Каттакурган – Рзд. № 28	87.99	26.38	13823	120.81	36.10	18981
5	Рзд. № 28 - Зирабулак	220.25	41.81	22104	209.49	40.50	21024
6	Зирабулак - Зиёвуддин	147.32	18.63	9758	166.41	20.98	11022
7	Зиёвуддин - Навои	127.25	18.22	9509	201.01	28.45	15020
8	Мароканд - Навои	924.46	21.84	11600	1156.9	27.33	14517

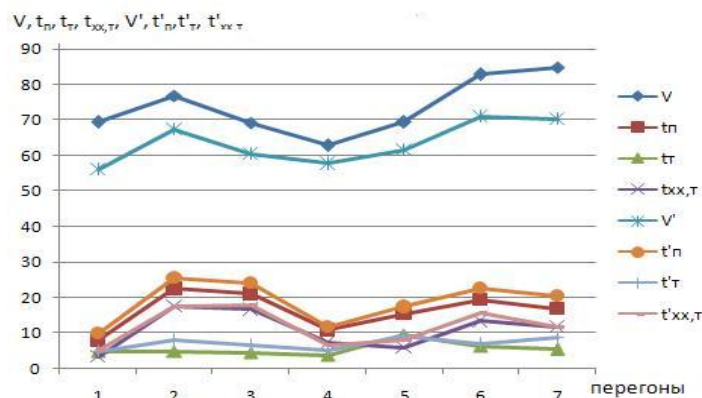


Рис. 1. Кинематические параметры движения грузовых поездов на участке Мароканд – Навои
Fig. 1. Kinematic parameters of freight trains movement on the Marokand - Navoi line

На рис. 2 используются следующие обозначения: E – общий (полный) расход натурального дизельного топлива за поездку; e – удельный расход натурального дизельного топлива за поездку; c_T – затраты денеж-

ных средств за поездку. Обозначения без штриха соответствуют параметрам движения поезда без остановок на отдельных пунктах, со штрихом – с остановками.

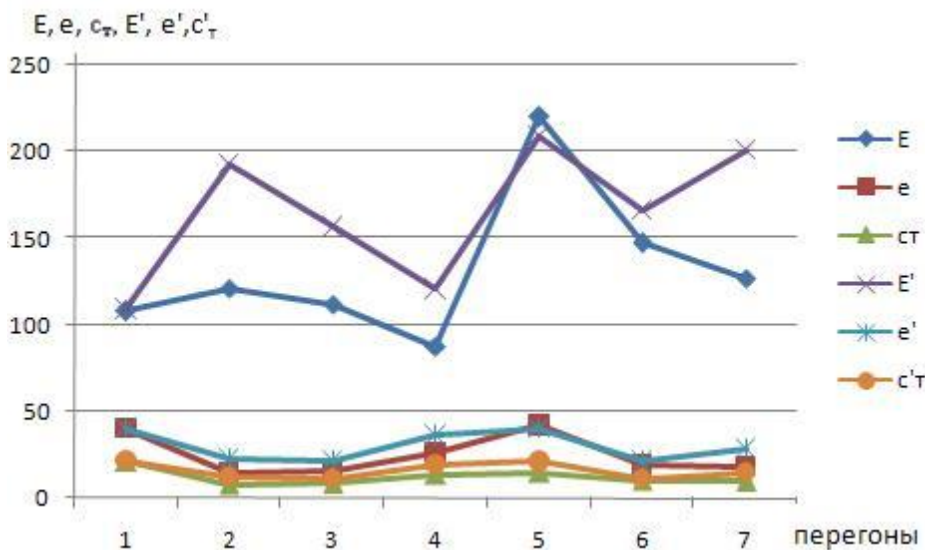


Рис. 2. Параметры энергоёмкости исследуемых тепловозов *UzTE16M3* на участке Мароканд – Навои
 Fig. 2. Parameters of energy consumption of the diesel locomotives *UzTE16M3* on the Marokand – Navoi line

Усреднённые значения были рассчитаны как средние величины в принятом диапазоне изменения массы составов (от 2500 т до 3000 т) грузовых поездов, которые, интерпретировались как опорные точки для анализа эффективности выполнения качественной составляющей перевозочной работы исследуемых тепловозов *UzTE16M3* на холмисто-горном участке Мароканд – Навои Узбекской железной дороги.

Анализ проводился путём сравнения между собой усреднённых значений упомянутых выше показателей для разных видов движения грузовых поездов. Объективным подтверждением адекватности полученных результатов послужили результаты многочисленных исследований эффективности использования локомотивов дизельной и электрической тяги в разнообразных условиях организации эксплуатационной работы железных дорог [1, 12, 15, 16, 20].

Движение грузовых поездов на холмисто-горном участке Мароканд – Навои, реализуемое магистральными (поездными) грузовыми трёхсекционными тепловозами *UzTE16M3* без остановок на промежуточных станциях, разъездах и отдельных пунктах по отношению к аналогичному движению с остановками на них, обеспечивает:

- уменьшение общего времени хода поезда на 17.64 мин при среднем расчётном времени на одну остановку в 2.52 мин и увеличение технической скорости движения на 10.05 км/ч;
- достижение долей движения в режимах тяги, холостого хода и торможения, соответственно, 33.99 и 66.01%;
- уменьшение – увеличение долей движения в режимах тяги и холостого хода, торможения приблизительно на 3,28%;
- уменьшение времени движения в режимах тяги, холостого хода и торможения, соответственно, на

10.19 мин (~20.91%) и 7.45 мин (9.05%) относительно затрат времени на движение с остановками на промежуточных станциях;

- снижение общего (полного) и удельного расходов натурального дизельного топлива за поездку, в среднем на 20.09%;
- достижение общего (полного) и удельного расхода натурального дизельного топлива на одну остановку, соответственно, 33.21 кг и 0.78 кг/10⁴ ткм брутто;
- снижение приведённых удельных затрат денежных средств приблизительно на 2917 сўм / км (или 20%).

Аналогично исследованиям [11, 16], тяговые качества (свойства) профиля пути перегонов холмисто-горного участка Мароканд – Навои АО «Узбекские железные дороги» будем обосновывать по критерию сложности профиля пути перегона. Таким критерием являются приведённые значения общего и удельного расходов натурального дизельного топлива на тягу поездов, которые численно будут равны частному от деления количества (величины) упомянутых расходов на один километр длины железнодорожного пути. С целью обеспечения корректности принятого нами критерия, дополнительно будем использовать сопутствующие перевозочному процессу на холмисто-горном участке Мароканд – Навои следующие приведённые значения: c_T – приведённые денежные затраты; t^* – приведённое время хода поезда в режиме тяги и e – удельный расход натурального дизельного топлива на тягу поездов.

Средние значения кинематических параметров движения, общего расхода натурального дизельного топлива на тягу поездов и приведённые значения параметров основных показателей энергетической эффективности упомянутых тепловозов *UzTE16M3* при вождении грузовых поездов по перегонам участка Мароканд – Навои были определены как среднеариф-

метические величины для двух видов движения – с остановками на раздельных пунктах и без остановок.

На рис. 3 и рис. 4 представлены, соответственно, динамика средних значений кинематических параметров движения грузовых поездов и расхода натурального дизельного топлива, затрачиваемого исследуемыми тепловозами UzTE16M3 на движение поездов по перегонам участка Мароканд – Навои, а также изменения приведённых значений показателей энергетической

эффективности упомянутых тепловозов по каждому перегону участка. По оси абсцисс приняты обозначены перегоны, номера которых соответствуют нумерации в табл. 2, 3. На рис. 4 использованы следующие обозначения: E^* , e^* , e – расход натурального дизельного топлива за поездку, соответственно, приведённый общий (полный), приведённый удельный и удельный; t_r^* – приведённое время хода поезда в режиме тяги; c_T – приведённые денежные затраты.

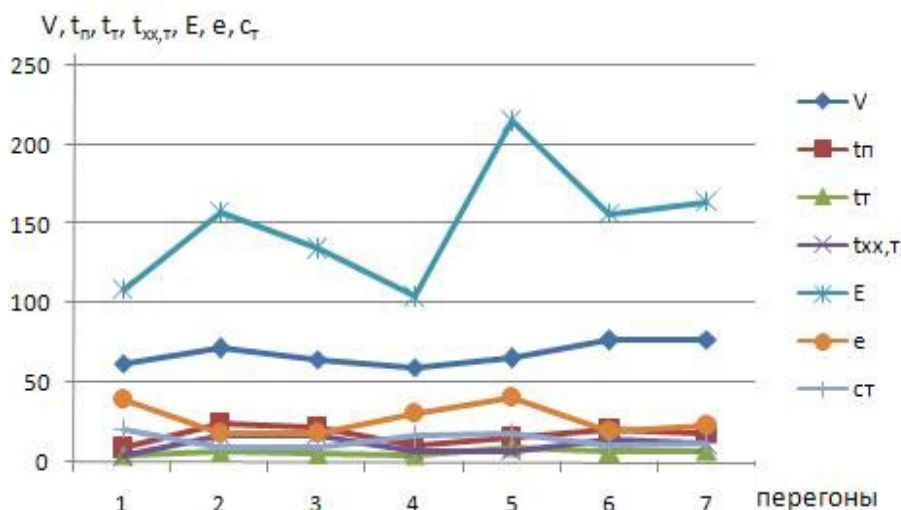


Рис. 3. Средние значения кинематических параметров движения грузового поезда и расхода натурального дизельного топлива на перемещение поезда тепловозами UzTE16M3 по перегонам участка Мароканд – Навои

Fig. 3. Average values of the kinematic parameters of the movement of a freight train and the consumption of diesel fuel for the movement of a train by diesel locomotives UzTE16M3 along the tracks of the Marokand – Navoi line

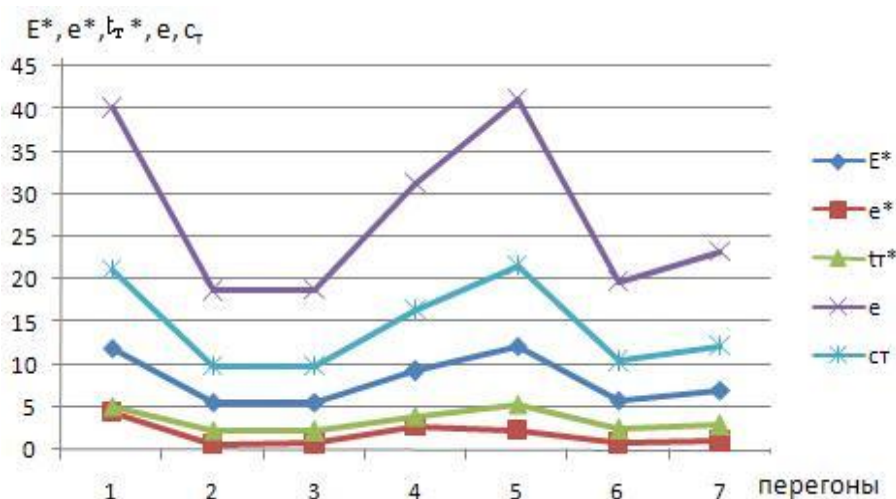


Рис. 4. Приведённые значения показателей энергетической эффективности тепловозов UzTE16M3 по перегонам участка Мароканд – Навои

Fig. 4. The given values of the energy efficiency indicators of UzTE16M3 diesel locomotives for the sections of the Marokand – Navoi line

Для лучшей наглядности динамики приведённого времени хода грузового поезда в режиме тяги t_r^* по перегонам исследуемого участка их значения на рис. 4 были увеличены в десять раз.

Анализ представленных зависимостей, критерия сложности профиля пути перегонов участка и приведённых значений параметров основных показателей

перевозочной работы тепловоза UzTE16M3, характеризующих исследуемое движение грузовых поездов на этом участке, свидетельствует о следующем.

Перегоны Мароканд – Джума и Разъезд № 28 – Зирабулак являются наиболее сложными, перегон Каттакурган – Разъезд № 28 – средний по сложности, условно лёгким перегон является перегон Зиёвуд-

дин – Навои, а перегоны Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган и Зирабулак – Зиёвуддин – наиболее лёгкие.

Распределение приведённых значений параметров энергетической эффективности исследуемого тепловоза *UzTE16M3* по каждому из перегонов исследуемого участка обосновывает и подтверждает корректность вышесказанного.

1. Величина приведённого расхода натурального дизельного топлива общего (E^* , кг/км) / удельного (e^* , кг/10⁴ ткм брутто: км) по каждому перегону участка Мароканд-Навои составляет:

- на наиболее сложных перегонах Мароканд – Джума и Разъезд № 28 – Зирабулак, соответственно, 11.87 / 4.38 и 12.49 / 2.37 единиц при движении без остановок, а также 12.01 / 4.44 и 11.88 / 2.30 единиц при движении с остановками на отдельных пунктах, а для средних приведённых значений – 11.94 / 4.41 и 12.18 / 2.33 единиц;
- на среднем по сложности перегоне Каттакурган – Разъезд № 28 эти значения составляют 7.81 / 2.34 и 10.72 / 3.20 единиц, соответственно, при движении без остановок и с остановками на отдельных пунктах, а для средних приведённых значений – 9.26 / 2.77 единиц;
- на условно лёгком перегоне Зиёвуддин – Навои и лёгких перегонах Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган и Зирабулак – Зиёвуддин происходит изменение отношения приведённого расхода топлива к удельному в диапазоне от 8.48 / 1.2 до 6.23 / 0.78 единиц при движении с остановками и от 5.87 / 0.74 до 4.26 / 0.5 единиц при движении без остановок на отдельных пунктах, а для средних приведённых значений – от 6.93 / 0.99 до 5.52 / 0.65 единиц.

2. Усреднённые величины приведённых значений времени хода грузового поезда в режиме тяги (t_T^* , мин/км) и денежных затрат (c_T , тыс. сўм/км) на натурное дизельное топливо на лёгких перегонах Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган и Зирабулак – Зиёвуддин составляют, в среднем, $t_T^* = 0.23$ мин/км и $c_T = 10.007$ тыс. сўм/км. Аналогичные значения на перегонах Мароканд – Джума, Разъезд № 28 – Зирабулак и Каттакурган – Разъезд № 28 превышают приведённые выше значения, соответственно, в 2.22 и 2.11; 2.3 и 2.15; 1.7 и 1.39 раз.

3. Аналогичные превышения характерны также для значений удельного расхода натурального дизельного топлива на тягу поездов (для лёгких перегонов величина $e = 19.07$ кг/10⁴ ткм брутто), увеличения которых для двух самых сложных, среднего по трудности и условно лёгкого перегонов составляют, соответственно, 2.1, 2.16; 1.64 и 1,04 раза.

Таким образом, по профилю пути холмисто-горного железнодорожного участка Мароканд – Навои перегоны Мароканд – Джума и Разъезд № 28 – Зирабулак являются наиболее сложными, перегон

Каттакурган – Разъезд № 28 – средний по сложности, условно лёгкий перегон – Зиёвуддин – Навои, а перегоны Джума – Нурбулак, Нурбулак – Каттакурган и Зирабулак – Зиёвуддин – наиболее лёгкие.

4. Заключение

В результате проведённых исследований перевозочной работы трёхсекционных магистральных тепловозов серии *UzTE16M3* при различных условиях организации грузового движения на холмисто-горном железнодорожном участке Мароканд – Навои АО «Узбекская железная дорога» были получены значения кинематических параметров движения грузовых поездов и показатели энергетической эффективности использования исследуемого тепловоза. Были обоснованы критерии тягового качества профиля пути перегонов для разных типов участков железных дорог и определены их значения по каждому из перегонов исследуемого холмисто-горного участка.

Полученные параметры кинематических и энергетических показателей перевозочной работы исследуемых магистральных тепловозов показали достаточно высокую сходимость с результатами известных исследований [1, 11, 12, 20–22] и однозначно могут характеризовать перевозочный процесс в реальных условиях организации железнодорожных перевозок грузов на данном исследуемом участке железной дороги.

Результаты исследования, расширяя диапазон практического использования их в разных условиях организации эксплуатационной деятельности железных дорог, рекомендуются автором машинистам, машинистам-инструкторам и специалистам цеха эксплуатации локомотивных депо Самарканд и Бухара. Полученные результаты могут быть использованы для корректировки режимных карт вождения грузовых поездов, а также для оценки действующих и разработки перспективных нормативов расхода натурального дизельного топлива тепловозами на тягу поездов.

Кроме того, результаты исследования будут весьма полезны специалистам локомотивного комплекса и других смежных структурных подразделений АО «Узбекские железные дороги» при определении тяговых качеств пути и трассы железнодорожной линии Самарканд – Бухара. Предложенные приведённые значения общего и удельного расходов натурального дизельного топлива на тягу поездов в количественном и денежном исчислении, с учётом сопутствующих перевозочному процессу значений приведённого времени хода поезда в режиме тяги и удельного расхода натурального дизельного топлива за поездку, позволят адекватно оценивать влияние сложности перегонов железнодорожного пути на энергетику и эффективность организации движения грузовых и пассажирских поездов на холмисто-горных и идентичным им участках железных дорог.

Список литературы

1. Абляимов О. Анализ эффективности использования локомотивной тяги на равнинном участке железной дороги // Известия Транссиба. 2015. Т. 24. № 4. С. 2-11.
2. Anand M. D., Selvaraj T., Kumanan S., Janarthanan J. Fault diagnosis system for a robot manipulator through neuro fuzzy approach // International Journal of Modelling, Identification and Control. 2008. Т. 3. № 2. С. 181. <https://www.doi.org/10.1504/IJMIC.2008.019357>.
3. Wang Y.-X., Wang L.-D., Wang B.-H., Luo N.-N. Display screen in the cab for the locomotive fault diagnosis system // Journal of the China Railway Society. 2006. № 3. С. 67-70.
4. Li N. Research on Electromagnetic Transient Process of Electric Locomotive System: PhD thesis, Beijing Jiaotong University. Beijing. 2010. 332 с.
5. Naidoo P. N., Mulder J.M. Improved distributed power train handling strategies // 11th International Heavy Haul Association Conference. Cape Town, 2017.
6. Mayet C., Pouget J., Bouscayrol A., Lhomme W. Influence of an Energy Storage System on the Energy Consumption of a Diesel-Electric Locomotive // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2014. Т. 63. № 3. С. 1032-1040. <https://www.doi.org/10.1109/TVT.2013.2284634>.
7. Liu Y.-J., Chang G. W., Huang H. M. Mayr's Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System // IEEE Transactions on Power Delivery. 2010. Т. 25. № 3. С. 2025-2027. <https://www.doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2037521>.
8. Jiang X., He Z., Hu H., Zhang Y. Analysis of the Electric Locomotives Neutral-section Passing Harmonic Resonance // Energy and Power Engineering. 2013. Т. 05. № 04. С. 546-551. <https://www.doi.org/10.4236/epe.2013.54B104>.
9. GuanJun L., Xiaoyun F., Lijun W., Shihao C. Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU // Transactions of China Electrotechnical Society. 2007. № 7. С. 181-185.
10. WEN J., WANG B., FANG Z. Studies and Applications of Ground Auto-passing Neutral Section Separation System for High Speed Railway // Railway Standard Design. 2011. № 4. С. 104-108.
11. Абляимов О. Оценка эффективности перевозочной работы тепловозов 4ТЭ10М и тяговых качеств профиля пути участка Кумкурган-Ташгузар в условиях эксплуатации // Вестник транспорта Поволжья. 2015. Т. 49. № 1. С. 17-24.
12. Абляимов О. Исследование эксплуатации тепловозов UZTE16M3 на холмисто-горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» // Вестник транспорта Поволжья. 2016. Т. 57. № 3. С. 16-22.
13. Деев В., Ильин Г., Афонин Г.С. Тяга поездов: Учебное пособие для вузов. М.: Транспорт, 1987. 264 с.
14. Кузьмич В., Руднев В., Френкель С. Теория локомотивной тяги: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: Издательство «Маршрут», 2005. 448 с.
15. Абляимов О. Исследование эксплуатации тепловозов 3ТЭ10М на холмисто-горном участке АО «Ўзбекистон темир йўллари» // Известия Транссиба. 2016. Т. 26. № 2. С. 2-10.
16. Абляимов О. Исследование эффективности перевозочной работы тепловозов 3ТЭ10М и тяговые качества профиля пути участка Мароканд – Навои в условиях эксплуатации // Транспортные интеллектуальные системы - 2017 (TIS-2017). Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 16-17 февраля 2017. С. 150-162.
17. Бабичков А., Егорченко В. Тяга поездов. М.: Трансжелдориздат, 1962. 264 с.
18. Бабичков А., Гурский П., Новиков П. Тяга поездов и тяговые расчеты: Учебник. М.: Транспорт, 1971. 280 с.
19. Абляимов О., Ушаков Э. Основы управления локомотивов: Учебник. Ташкент: Davr, 2012. 392 с.
20. Абляимов О. Исследование эффективности использования локомотивов дизельной тяги на холмисто-горном участке железной дороги // Вестник транспорта Поволжья. 2016. Т. 60. № 6. С. 17-24.
21. Абляимов О., Ергашев З. К исследованию эксплуатации тепловозов UzTE16M3 на холмисто-горном участке железной дороги // Локомотивы. XXI век. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. С. 179-184.
22. Абляимов О. С., Ергашев З. З., Хисматулин М. И. Оценка тяговых качеств профиля пути железнодорожного участка Мароканд – Навои АО «Ўзбекистон темир йўллари» // Локомотивы. XXI век. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. С. 188-193.

References

1. Ablyalimov O. S. *The Analyses of Efficiency of Use of the Locomotive Tractions on the Plainly Direction of Railway Track* // Journal of Transsib Railway Studies. 2015, vol. 24, no. 4, pp. 2–11. (In Russ.).
2. Anand M. D., Selvaraj T., Kumanan S., Janarthanan J. *Fault diagnosis system for a robot manipulator through neuro fuzzy approach* // International Journal of Modelling, Identification and Control. 2008, vol. 3, no. 2, p. 181. <https://www.doi.org/10.1504/IJMIC.2008.019357>.
3. Wang Y.-X., Wang L.-D., Wang B.-H., Luo N.-N. *Display screen in the cab for the locomotive fault diagnosis system* // Journal of the China Railway Society. 2006, no. 3, pp. 67–70.
4. Li N. *Research on Electromagnetic Transient Process of Electric Locomotive System*. Beijing: Beijing Jiaotong University. 2010. 332 p.
5. Naidoo P. N., Mulder J.M. Improved distributed power train handling strategies // 11th International Heavy Haul Association Conference. 2017.
6. Mayet C., Pouget J., Bouscayrol A., Lhomme W. *Influence of an Energy Storage System on the Energy Consumption of a Diesel-Electric Locomotive* // IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2014, vol. 63, no. 3, pp. 1032–1040. <https://www.doi.org/10.1109/TVT.2013.2284634>.
7. Liu Y.-J., Chang G. W., Huang H. M. *Mayr's Equation-Based Model for Pantograph Arc of High-Speed Railway Traction System* // IEEE Transactions on Power Delivery. 2010, vol. 25, no. 3, pp. 2025–2027. <https://www.doi.org/10.1109/TPWRD.2009.2037521>.
8. Jiang X., He Z., Hu H., Zhang Y. *Analysis of the Electric Locomotives Neutral-section Passing Harmonic Resonance* // Energy and Power Engineering. 2013, vol. 05, no. 04, pp. 546–551. <https://www.doi.org/10.4236/epe.2013.54B104>.
9. Guanjun L., Xiaoyun F., Lijun W., Shihao C. *Research and Simulation on Auto-Passing Phase Separation Control Strategy of High-Speed EMU* // Transactions of China Electrotechnical Society. 2007, no. 7, pp. 181–185.
10. WEN J., WANG B., FANG Z. *Studies and Applications of Ground Auto-passing Neutral Section Separation System for High Speed Railway* // Railway Standard Design. 2011, no. 4, pp. 104–108.
11. Ablyalimov O. S. *Evaluation of the efficiency of transportation work of diesel locomotives 4TE10M and traction qualities of the track profile of the Kumkurgan-Tashguzar section under operating conditions* // Vestnik transporta Povolzhya. 2015, vol. 49, no. 1, pp. 17–24. (In Russ.).
12. Ablyalimov O. S. *Study of the operation of UZTE16M3 diesel locomotives on the hilly-mountainous section of JSC "Uzbekiston Temir Yulari"* // Vestnik transporta Povolzhya. 2016, vol. 57, no. 3, pp. 16–22. (In Russ.).
13. Deev V. V., Ilin G. A., Afonin G.S. *Тяга поездов: Textbook*. Moscow: Transport. 1987. 264 p. (In Russ.).
14. Kuzmich V., Rudnev V., Frenkel S. *Locomotive traction theory*. Moscow: Publishing house "Marshrut". 2005. 448 p. (In Russ.).
15. Аблялимов О. *Researching an Exploitation of 3TE10M Diesel Locomotive on a Hilly-Mountainous Direction of "Uzbekistan Railways" JSC* // Journal of Transsib Railway Studies. 2016, vol. 26, no. 2, pp. 2–10. (In Russ.).
16. Ablyalimov O. *Investigation of the efficiency of the transportation operation of diesel locomotives 3TE10M and traction qualities of the track profile of the Marokand - Navoi section under operating conditions* // Transport intelligent systems: Proceedings of the first international scientific and practical conference. 16-17 February 2017, Saint Petersburg: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, pp. 150–162. (In Russ.).
17. Babichkov A. M., Egorchenko V. F. *Train Traction*. Moscow: Transzheldorizdat. 1962. 264 p. (In Russ.).
18. Babichkov A. M., Gurskii P. A., Novikov P. A. *Тяга поездов и тяговые расчеты: Textbook*. Moscow: Transport. 1971. 280 p. (In Russ.).
19. Ablialimov O. S., Ushakov E. S. *Locomotive control basics: Textbook*. Tashkent: Davr. 2012. 392 p. (In Russ.).
20. Ablialimov O. S. *Study of the efficiency of using diesel traction locomotives on the hilly - mountainous section of the railway* // Vestnik transporta Povolzhya. 2016, vol. 60, no. 6, pp. 17–24. (In Russ.).
21. Ablialimov O. S., Ergashev Z. Z. *To the study of the operation of UzTE16M3 diesel locomotives on the hilly-mountainous section of the railway* // Locomotives. XXI Century: Proceedings of the IV-th conference. 2016, Saint Petersburg: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, pp. 179–184. (In Russ.).
22. Ablialimov O. S., Ergashev Z. Z., Khismatulin M. I. *Assessment of traction qualities of the track profile of the railway section Marokand - Navoi of JSC "Uzbekiston Temir Yulari"* // Locomotives. XXI Century: Proceedings of the IV-th conference. 2016, Saint Petersburg: Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, pp. 188–193. (In Russ.).