

7universum.com  
**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научный журнал  
Издается ежемесячно с декабря 2013 года  
Является печатной версией сетевого журнала  
Universum: технические науки

Выпуск: 4(97)

Апрель 2022

Часть 5

Москва  
2022

УДК 62/64+66/69

ББК 3

U55

**Главный редактор:**

*Ахметов Сайранбек Махсутович*, д-р техн. наук;

**Заместитель главного редактора:**

*Ахмеднабиев Расул Магомедович*, канд. техн. наук;

**Члены редакционной коллегии:**

*Горбачевский Евгений Викторович*, канд. техн. наук;

*Демин Анатолий Владимирович*, д-р техн. наук;

*Елисеев Дмитрий Викторович*, канд. техн. наук;

*Звезда Марина Юрьевна*, д-р. физ.-мат. наук;

*Ким Алексей Юрьевич*, д-р техн. наук;

*Козьминых Владислав Олегович*, д-р хим. наук;

*Ларионов Максим Викторович*, д-р биол. наук;

*Манасян Сергей Керопович*, д-р техн. наук;

*Мажидов Кахрамон Халимович*, д-р наук, проф;

*Мартышкин Алексей Иванович*, канд. техн. наук;

*Мерганов Аваз Мирсултанович*, канд. техн. наук;

*Пайзуллаханов Мухаммад-Султанхан Саидвалиханович*, д-р техн. наук;

*Радкевич Мария Викторовна*, д-р техн. наук;

*Серегин Андрей Алексеевич*, канд. техн. наук;

*Старченко Ирина Борисовна*, д-р техн. наук;

*Усманов Хайрулла Сайдуллаевич*, канд. техн. наук;

*Юденков Алексей Витальевич*, д-р физ.-мат. наук;

*Tengiz Magradze*, PhD in Power Engineering and Electrical Engineering.

**U55 Universum: технические науки:** научный журнал. – № 4(97). Часть 5. М.,  
Изд. «МЦНО», 2022. – 68 с. – Электрон. версия печ. публ. –  
<http://7universum.com/ru/tech/archive/category/497>

ISSN : 2311-5122

DOI: 10.32743/UniTech.2022.97.4-5

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

ББК 3

© ООО «МЦНО», 2022 г.

## Содержание

<b>Транспорт</b>	<b>5</b>
КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ИНДИКАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭКОНОМИКОЙ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ Камалов Акмаль Саидакбарович	5
ОПТИМИЗАЦИЯ СКЛАДСКОЙ ПЛОЩАДИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК Омонов Баходир Шомирзаевич Жураев Мухиддин Нортोजиевич Юсуфхонов Зокирхон Юсуфхон угли Абсатторов Исомиддин Хотам ули	9
КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ. ЧАСТЬ VI Джаббаров Шухрат Батирович Саидивалиев Шухрат Умарходжаевич Ортиков Мироншох Содикович Икрамова Диёра Закировна	14
МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕСНО-МОТОРНОГО БЛОКА ТЕПЛОВОЗА UZTE16M Файзибаев Шерзод Сабирович Авдеева Анна Николаевна, Мамаев Шерали Иброхимович Турсунов Шукуралли Эхсонович Нигматова Дилноза Исламовна	24
АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ ОА “УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ” Файзибаев Шерзод Сабирович Авдеева Анна Николаевна, Мамаев Шерали Иброхимович Турсунов Шукуралли Эхсонович Нигматова Дилноза Исламовна	30
РАСЧЕТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В МАТЕРИАЛЕ БАНДАЖА ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M Файзибаев Шерзод Сабирович Касимов Обиджон Тоирджонович	36
ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ (ДГУ) ТЕПЛОВОЗОВ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «БОРТ» Хамидов Отабек Рустамович Юсуфов Абдулазиз Махамадали угли Кодиров Нозимжон Солиевич Жамилов Шухрат Фармон угли Эркинов Бурхон Хайдарали угли Абдулатипов Улугбек Исломжон угли Сейдаметов Саидахмад Рахматуллаевич	41
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГЛАВНОЙ РАМЫ И ПРОДЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА АО “УТЙ” Хамидов Отабек Рустамович Юсуфов Абдулазиз Махамадали угли Кодиров Нозимжон Солиевич Жамилов Шухрат Фармон угли Абдурасулов Шерзамин Хайитбоевич Абдулатипов Улугбек Исломжон угли Сейдаметов Саидахмад Рахматуллаевич	47
АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРАТЕГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОГО ТРАНСПОРТА Шадиметов Юсуфжан Шадиметович Айрапетов Дмитрий Алексеевич	55

<b>Транспортное, горное и строительное машиностроение</b>	<b>58</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРУЖИННО-ФРИКЦИОННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА ГРУЗОВОГО ВАГОНА	58
Абдурахманов Жамшид Абдугапбар улы Джаббаров Шухрат Ботирович Хайдров Ойбек Улугбекович Абдуллаев Бахром Актамович Эргашева Васида Валижоновна Абдуллоев Мирзо Килич угли	
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНИЙ И УГЛОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЛАНИРОВОЧНЫХ СЕТЕЙ	63
Казакбаева Мухаббат Турабаевна Муҳаммаджонов Муроджон Рустам угли Дурдиев Хуршид Давронбек угли	

## ТРАНСПОРТ

КОМБИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ИНДИКАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
ЭКОНОМИКОЙ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

*Камалов Акмаль Саидакбарович*  
заместитель председателя правления,  
АО "Узбекистон темир йуллари",  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [zybuzrukov@mail.ru](mailto:zybuzrukov@mail.ru)

COMBINED METHODS OF INDICATIVE MANAGEMENT  
OF THE ECONOMY OF TRANSPORT SYSTEMS

*Akmal Kamalov*  
Deputy Chairman of the Board of  
JSC "Uzbekiston temir yullari",  
Republic Uzbekistan, Tashkent

## АННОТАЦИЯ

В данной статье показаны комбинированные методы индикативного управления экономикой транспортных систем. Учитывая чрезвычайную сложность разработки моделей управления транспортными системами в современных условиях, предлагается использовать комбинацию подходов и методов разработки эффективного логистического оборудования - модифицированные целевые программы и методы.

## ABSTRACT

This article shows the combined methods of indicative management of the economy of transport systems. Given the extreme complexity of developing transport systems management models in modern conditions, it is proposed to use a combination of approaches and methods for developing effective logistics equipment - modified target programs and methods.

**Ключевые слова:** транспортные системы, индикативное управление, вероятность, матрица, модель.

**Keywords:** Transport systems, indicative control, probability, matrix, model.

## 1. Введение

На современном этапе развития высокотехнологичного логистического оборудования особое внимание уделяется широкому применению теоретико-игровых подходов к решению ряда экономических вопросов.

В то же время сложность проблемы состоит в том, что классические методы принятия стратегических решений (метод линейного программирования, экспертный метод и др.) плохо работают в крайне противоречивой, неорганизованной среде, вызванной экономическими отношениями и геоэкономическими тенденциями, высокой конкуренцией и интеграционные процессы на мировых рынках и национальных рынках. Глобализация мировой экономики накладывает свой отпечаток на внешнеэкономическую политику, проводимую национальными государствами. Функции и стратегии современных международных отношений обусловлены целями и задачами геоэкономического и геополитического развития. Акцент сделан на первую из них, а именно

на геоэкономическую модель мирового развития, согласно которой международные экономические отношения рассматриваются не как идеологические и силовые факторы, а прежде всего как система взглядов (понятий), определяемых экономическими факторами. Во внешнеэкономическом пространстве предпринимается попытки реализации различных усилий (с использованием высоких логистических и геоэкономических технологий), направленных на интеграцию национальных экономик и связанных с ними хозяйствующих субъектов в международные производственные процессы с целью облегчения распределения и использования мировых доходов.

## 2. Обзор литературы

Для разработки хорошего логистического инструмента необходима целевая комбинация подходов и методов, которая может включать модифицированный программно-целевой метод, логико-эвристический метод, метод экспертного анализа и другие. В связи с этим исследователи в нашей стране и за рубежом,

в частности, американский экономист - лауреат Нобелевской премии по экономике (1995) Дж. Особого внимания заслуживают конкурентные рыночные стратегии, основанные на работе Нэша [1, 6]. Конкурентные рыночные стратегии в современных логистических моделях Г. Используемые совместно со стратегией управляемого рынка Штакельберга, они образуют вертикально управляемую иерархическую структуру с системными целями развития на основе Национальной концепции социально-экономического развития, управляемой Координационным центром (КЦ) с использованием экономических стимулов (налоги, рента, акцизы и т.д.) на ее высшем уровне и на низшем - цели экономических агентов, которые сами реализуют рыночные отношения [2]. Понятно, что в общем случае эти цели не только взаимно согласованы, но и переплетены.

Основными задачами антимонопольного логистического управления транспортной экономикой являются формирование товарных рынков и иных рынков, обеспечение конкурентоспособности товаров и услуг, производимых транснациональными хозяйствующими субъектами. Что касается решения этих проблем, то следует отметить появление новых форм отношений собственности, управления и управления хозяйствующими субъектами (с учетом сложного многопланового взаимодействия участников), создание индикативной системы управления транспортным хозяйством, функциональное управление отраслями, создание межгосударственного механизма антимонопольного управления.

Одним из важнейших этапов реализации концептуальных задач является принятие межгосударственных программ антимонопольного регулирования и реструктуризации транспортного хозяйства. По мнению автора, эти программы должны включать [3]:

- реструктуризация и демополизация транспортного хозяйства;
- приватизация, продажа государственных акций (эмиссии);
- создание новых хозяйствующих субъектов, передача им в управление государственной доли (траста);
- поддержка предпринимательства.

Все это требует развития и преобразования рынков транспортных средств и транспортных услуг, систематического контроля за деятельностью хозяйствующих субъектов, являющихся приоритетными на этих рынках. Нельзя недооценивать естественные монополии, государственные монополии, временные монополии, роль и место управленческих структур государственного сектора (производственно-хозяйственный аудит, маркетинговая информационная система, разработка государственных стандартов и др.) [4].

В сфере международных перевозок были времена, когда последствия хозяйственных решений были непредсказуемы, недостаточно учитывались негативные последствия тех или иных нарушений производственного процесса, то есть неизбежные факторы, сопровождающие экономические риски. Управление рисками позволяет обезопасить себя от

таких происшествий с помощью определенного комплекса предупреждающих действий, предотвращающих дальнейшее увеличение размера наблюдаемого ущерба. Подход к управлению рисками предлагает два типа действий: распределение убытков между предпринимателями с одинаковым риском (самосохранение) или обращение за помощью в страховую фирму.

### 3. Методология исследования

Риски особенно сложны при разработке комплексных программ развития транспортной сети. Используемый в прошлом классический программно-целевой метод создавал достаточные возможности для ошибок, так как позволял учитывать только начальное и конечное значения рыночного фактора. Модифицированный программно-ориентированный подход основан на теоретико-игровом инструментарии и рыночном принципе в форме конкурентных рыночных стратегий Нэша, поэтому он имеет рыночную топологию, специфичную для конкурентных рыночных стратегий.

Для раскрытия сущности модифицированного программно-целевого метода представим некоторый экономический фактор  $K(t)$  в виде некоторого временного интервала  $[0, T]$ , где все компоненты. Кроме того, фактор имеет конкурентно-рыночную природу, и его имеет две содержательные тенденции - известно, что они подвержены постоянному увеличению или уменьшению. Также известны начальные условия, заданные фактору: могут быть также заданы терминальные значения (но не обязательно): Никакой другой информации о  $K(t)$  нет.

С одной стороны, чтобы не нарушать его рыночный характер, а с другой стороны - при наличии координационного центра (КМ), действующего по систематическому ориентиру (программе) в отношении  $K(t)$ , этот рыночный фактор и  $K$  (В каком виде могут быть представлены (аппроксимированы) составляющие  $t$ ) - рыночные факторы, придающие рыночный характер  $K(t)$ ? Очевидно, что основная трудность заключается в предсказании промежуточной траектории между  $t = 0$  и  $t = T$ .

Само собой разумеется, что если применить простую математическую или квадратичную аппроксимацию, то можно разрушить рыночную структуру  $K(t)$ . Известно, что в социально-экономической среде действуют два разных принципа разрешения конфликтов: принцип Парето (или принцип социальной справедливости), в котором улучшение положения одного участника связано с ухудшением положения другого других и принцип Нэша (принцип рыночных отношений) дисбаланс может как улучшить, так и ухудшить свое положение и положение других.

### 4. Результаты исследования и анализ

Для наших целей было бы целесообразно применить принцип Штакельберга-Нэша, с помощью которого формируются стратегии, называемые конкурентными рыночными стратегиями, которые формируются при решении некоторого уравнения

дифференциальной игры, представляющей тренд фактора. Есть ряд особенностей, которые позволяют Нэшу отличать его дифференциальные игры от игр других типов. Что касается поставленной нами задачи, то подход Штакельберга-Нэша [6] означает, что дифференциальное уравнение тенденции фактора  $K(t)$  должно быть сформулировано таким образом, что если эта тенденция сталкивается с каким-либо управляющим или ответственным органом, Компонентами (t) считаются некие рыночные факторы, которые контролируются рыночными агентами, действующими по своим целевым функциям, не подчиненным и даже не противопоставленным системной функции целевого объекта.

В реализации этой идеи [0, T] было известно в начальной точке контрольного интервала и стандартизировано как  $\sum W_i(0) = 1$ ,  $W_i(t) = K_i(t)/K(t)$ , выводим в стратегию. Если  $K(t)$  что касается тенденции роста, то ее можно резюмировать следующим образом:

$$dK/dt = a K \sum W_i^N(t) \quad (1)$$

Здесь где  $a > 0$  - ниже определяется параметр, описывающий скорость изменения тренда (он называется параметром Штакельберга по имени немецкого экономиста Г. Штакельберга, впервые предложившего такие уравнения трендов),  $W_i^N(t)$  в то время как стратегии совместимы только со стратегиями,  $W_i$  введенными выше на некотором начальном графике [0, T], с какого-то момента по закону равновесия Нэша  $W_i^N(t)$  становятся конкурентными рыночными стратегиями.

В простейшем случае задача моделирования рыночного тренда фактора  $K_i(T)$  упрощается, так как только в интервале между  $t=0$  и  $t=T$  требуется самоопределение подчиненного  $K(t)$ .  $K_i(T)$  работа значительно усложняется, если тренды фактора  $K(t)$ , которые заранее не известны, «сталкиваются» с

центром. В отличие от предыдущего здесь необходима систематическая целевая функция, по которой можно определить  $K_i(T)$  и далее перейти к первому варианту.

Таким образом, уравнение тренда роста рыночного фактора  $K(t)$  запишем в общем виде следующим образом:

$$dK/dt = a K \sum W_i(t), \quad K(0) = K_0, \quad W_i(0) = W_{i0}, \quad \sum W_i(0) = 1 \quad (2)$$

В условиях конкурентной рыночной экономики, а также в соответствии с логикой сопротивления инновациям агенты, отвечающие за поведение нижнего уровня дерева  $K_i(T)$ , сопротивляются реализации тенденции, их  $I_i$  пытается достичь целевых функций и, следовательно,  $I_i = \int K a(1 - W_i) dt$  ( $i = 1, 2, \dots$ ) функционалы стремятся принимать как можно большие значения в интервале [0, T]. Можно показать, что реализация этих целей противоречит уравнению тренда. Действительно, из структуры функционалов видно, что в [0, T] необходимо иметь наименьшие возможные значения  $W_i$ , чтобы реализовать максимально возможные значения функционалов  $I_i$ , и наибольшие значения  $W_i$ .

$$dK/dt = a K \sum W_i(t) \quad (3)$$

в уравнении, а система  $I_i = \int K a(1 - W_i) dt \rightarrow \max(i = 1, 2, \dots)$  функционалов в [0, T] представляет собой дифференциальную игру Штакельберга-Нэша, которую Л.С. При решении с использованием принципа максимума Понтрягина [5] возможно, что в равновесии, по Нэшу, тенденция роста фактора  $K(t)$  имеет место при всех рыночных атрибутах, если принять конкурирующие рыночные стратегии  $W_i^N(t)$ , как показано на рисунке. (рисунок-1)

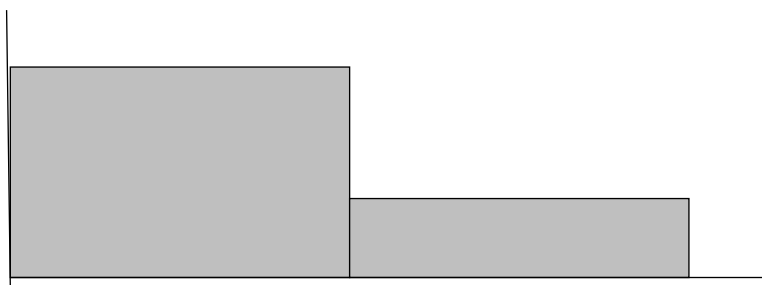


Рисунок 1. Конфигурация конкурентных рыночных стратегий для растущего тренда фактора

Предлагаемый в Штакельберг-Нэш подход к программированию, ориентированный на достижение цели, позволяет гибко управлять целями и действиями. С помощью этой модели мы можем найти как бюджетные ассигнования, так и общие ассигнования из функций траектории. Могут быть и другие варианты. Преимуществом предлагаемого метода перед

классическим вариантом является ограниченность миссии экспертов. Здесь роль экспертов заканчивается на этапе принципиальных финансовых ассигнований, остальное автоматически выводится из технологии метода, тогда как в классическом варианте метода все действия определяются деятельностью экспертов от начала до конца [6,7,8].

Этот метод входит в дерево инструментов логистики. Главным и самым важным в управлении является принятие решений, которые могут трактоваться органом управления (лицом) как процесс обработки информации, поступающей от подчиненных подразделений, инстанций и внешней среды. Количество информации, обрабатываемой при решении управленческих задач, как правило, является квадратичной функцией размера основной задачи [9]. Поскольку размер вопроса управления определяется в первую очередь количеством подчиненных единиц, а возможность обработки информации – эффективностью органа управления, возникает естественная потребность в иерархических организационных структурах [10,11].

## 5. Вывод

Логистические подходы показывают, что они достаточно эффективны в управлении транспортными предприятиями. Концепция риска включает в себя два важных элемента - оценку риска и управление риском. Оценка риска, как правило, носит вероятностно-экспертный характер в силу неоднозначности многих негативных последствий как объективных факторов, так и принимаемых экономических решений.

Управление рисками предполагает предвидение возможных чрезвычайных (критических) социально-экономических ситуаций, предвосхищение которых может их предотвратить, смягчить и смягчить их последствия. Поэтому, кроме оценки вероятности возникновения той или иной критической ситуации, целесообразно было бы оценить потери в случае возникновения кризиса.

## Список литературы:

1. Боков В.В. Методология стратегического управления внешнеэкономической деятельностью: Автореферат диссертации доктор экон.наук.-М.-2000.
2. Вайсборд Э.М., Жуковский В.И. Введение в дифференциальные игры нескольких лиц и их приложения. - М. Сов. радио, 1984.
3. Торбенко А. Модель линейного города с экзогенной конкуренцией по Штакельбергу // Математическая теория игр и ее приложения. 2013. No 5(2). С. 64–81.
4. D'Amato E., Mallozzi L., Pardalos P.M. Sequential Entry in Hotelling Model with Location Costs: A Three-Firm Case // Spatial Interaction Models: Facility Location Using Game Theory, Springer. 2017. P.261–272.
5. Штакельберга-Нэша в модели линейного города. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/329281677\\_Ravnovesie\\_Stakelberga-Nesa\\_v\\_modeli\\_linejnogo\\_goroda#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/329281677_Ravnovesie_Stakelberga-Nesa_v_modeli_linejnogo_goroda#fullTextFileContent) [accessed Mar 08 2022].
6. Juraev Muxiddin, Yusufkhanov Zokirkhon, & Akhmedov Dilmurod (2022). MODELING THE SYSTEM OF VEHICLE AND DRIVER ACTIVITY. *Universum: технические науки*, (1-3 (94)), 71-73.
7. Zokirkhan Yusufkhanov, Malik Ravshanov, Akmal Kamolov, and Elmira Kamalova. Improving the position of the logistics performance index of Uzbekistan. *E3S Web of Conferences* 264, 05028 (2021), CONMECHYDRO – 2021. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126405028>
8. Qodirov T.U. U., Yusufxonov Z.Y. O. G. L., & Sharapova S. R. Q. (2021). O'ZBEKISTONDA TRANSPORT-LOGISTIKA KLASTERLARI FAOLIYATINI TAKOMILLASHTIRISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(6), 305-312.
9. Кодиров Т.У., Юсуфхонов З.Ю. У., & Ахмедов Д.Т. У. (2021). АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА РЕЙТИНГ ИНДЕКСА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИКИ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1(6), 245-252.
10. Yusufkhanov, Zokirkhan Yusufkhan Ugli, Ahmedov, Dilmurod Toshpulat Ugli, Khusanov, Laziz Erkinovich, & Masodiqov, Shokhjakhon Ulugbekovich (2021). TOPICAL ISSUES OF IMPROVING THE QUALITY OF ROAD TRANSPORT IN THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1 (7), 108-117.
11. Atajanov Maxmud Kenjabayevich, & Yusufxonov Zokirkhon Yusufxon O'G'Li (2021). INNOVATION INFRATUZILMALARNI MULTIMODAL SHAHAR JAMOAT TRANSPORTIGA JALB QILISH ORQALI KO'CHA-YO'L TARMOQLARI YUKLANISHINI BARTARAF ETISH. *Oriental renaissance: Innovative, educational, natural and social sciences*, 1 (8), 74-86.



**ОПТИМИЗАЦИЯ СКЛАДСКОЙ ПЛОЩАДИ В ЦЕПЯХ ПОСТАВОК****Омонов Баходир Шомирзаевич**

канд. экон. наук, доцент, кафедра транспортной логистики,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [baxomonov@mail.ru](mailto:baxomonov@mail.ru)

**Жураев Мухиддин Норможиевич**

PhD, доцент, кафедра транспортной логистики,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [mdjurayev82@mail.ru](mailto:mdjurayev82@mail.ru)

**Юсуфхонов Зокирхон Юсуфхон угли**

ассистент, кафедра транспортной логистики,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [zybuzrukov@mail.ru](mailto:zybuzrukov@mail.ru)

**Абсатторов Исомиддин Хотам ули**

магистр, кафедра транспортной логистики,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [Absattorov1997@gmail.com](mailto:Absattorov1997@gmail.com)

**OPTIMIZATION OF WAREHOUSE AREA IN SUPPLY CHAINS****Bahodir Omonov**

Doctor (Ph.D.), assistant professor,  
Department of Transport Logistics,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Muxiddin Juraev**

Doctor (Ph.D.), assistant professor,  
Department of Transport Logistics,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Zokirkhon Yusufkhonov**

Assistant,  
Department of Transport Logistics,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Isomiddin Absattorov**

Master,  
Department of Transport Logistics,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье авторами был рассчитан один из возможных вариантов оптимизации складского пространства в логистической цепочке доставки грузов. Авторами были изучены существующие методы организации работы складского хозяйства и была составлена тепловая карта склада. На основе этого анализа был применен один из наиболее эффективных алгоритмов сортировки двумерного массива данных на складе, что позволило получить выигрыш в производительности почти на 25%, по сравнению с базовым, случайным хранением товаров на складе составил 7000 часов (22000 часов работы против 29000).

**ABSTRACT**

In this article, the authors calculated one of the possible options for optimizing storage space in the logistics chain of cargo delivery. The authors studied the existing methods of organizing the work of the warehouse and compiled a heat map of the warehouse. Based on this analysis, one of the most efficient algorithms for sorting a two-dimensional data array in a warehouse was applied, which made it possible to obtain a performance gain of almost 25%, compared with the basic, random storage of goods in a warehouse, which was 7,000 hours (22,000 hours of operation versus 29,000).

**Ключевые слова:** оптимизация, грузопоток, грузопереработка, сортировка, алгоритм, складское пространство, производительность, эффективный, диверсифицированный.

**Keywords:** optimization, cargo flow, cargo handling, sorting, algorithm, warehouse space, performance, efficient, diversified.

В условиях дальнейшего роста национальной экономики одним из ключевых вопросов является организация эффективной логистической системы по доставки грузов. Оперативная и своевременная доставка товаров, прежде всего, обеспечивает адекватность движения готовой продукции и сырья на внутреннем рынке и снижает стоимость продукции, доставляемой потребителям. Многие учёные изучали в своих исследованиях вопросы управления перевозками с точки зрения логистического подхода решая такие задача, как обеспечение непрерывности транспортных услуг в производственных процессах, оптимизация работы складов и снижение материальных затрат. Джеймс С. Джонсон, Дональд Ф. Дереве, П. Р. Мерфи, Д. Ретлиф, С. Уваров, Д. Иванов, Б. Аникин, Л. Миротин, А. Гаджинский, М. Окландер, Д. Бауэрсокс, Саматов Г.А., Бутаев Ш.А., Джураев М.Н. и другие учёные изучали эти вопросы в своей научных работах [1,2,3,4,9,11].

В логистической цепочке движение материальных потоков по складам влияет на цену товаров в части затрат на доставку. Поэтому проблемы организации движения материальных потоков на складах напрямую связаны с рационализацией их движения в логистических цепочках и грузопотоках [5].

Для повышения эффективности работы склада достаточно оптимизировать основной процесс - гру-

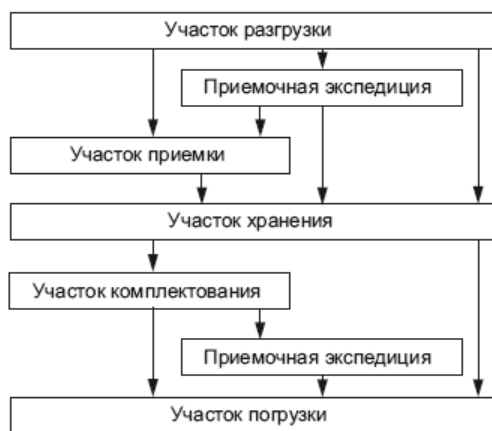
зопереработку. Грузопереработка связана с перемещением товаров на короткие расстояния, обычно в пределах самого склада или между зонами хранения и транспортными средствами. Эффективно работающие склады сокращают время перемещения до минимума, а необходимые перемещения делают максимально эффективными [6,7,8].

В данной работе задача оптимизации грузопереработки сводится к переосмыслению подхода к хранению товара на складе.

Основные показатели работы склада:

- грузопоток - количество груза, которое проходит через склад за единицу времени.
- грузопереработка - количество операций, совершаемых с грузом на участки между приемкой груза и его выдачей.
- продолжительность оборота - единица времени, характеризующая продолжительность нахождения груза на территории склада

Возьмем за основу основную задачу оптимизации, в виде снижения времени между необходимостью доставки товара к выгрузке и временем доставки товара от точки приемки к точке хранения. Представим процесс в виде следующего графика [12,13]:



**Рисунок 1. Векторная диаграмма перемещения груза по складу**

Каждый участок цепи характеризуется временем, затраченным между ним и следующим участком, а весь процесс выражается через формулу (1):

$$t_{\text{цикла}} = \sum_{i=0}^n t_i, \quad (1)$$

где: n – число операций

t – время затраченное на конкретном участке

На выходе получим следующий список:

Необходимо регулярно производить перегруппировку точек хранения товара, сначала на основе

математической модели, после чего, в случае достижения оптимальных теоретических показателей – переносить ее в реальный процесс. За основу теоретической модели склада возьмем грузооборот овощной продукции в Кашкадарьинский области Республики Узбекистан, за 2020 год он составил 768000 тонн. Овощная продукция — это максимально диверсифицированный товар, который поступает и отгружается со склада не равномерно по времени и объему [10].

Представим территорию склада в виде двухмерной тепловой карты, каждая ячейка которой характеризует интенсивность грузооборота товара, по шкале от 1 до 100:

13	31	71	57	33	100	32	65	86	57	
34	15	88	25	98	32	1	63	59	78	Точка приемки
88	58	67	93	8	49	11	28	97	90	
52	47	40	8	30	65	99	73	88	2	
60	96	82	58	32	12	10	85	24	74	
27	57	85	96	24	55	86	14	51	8	
40	25	89	27	11	54	35	60	43	52	
30	90	34	62	52	2	12	44	66	80	Точка отгрузки
4	97	99	16	63	93	40	12	92	45	
70	52	37	1	50	98	92	65	7	17	

Рисунок 2. Тепловая карта склада

Данная карта иллюстрирует случайное хранение товара на складе, базируясь лишь на подходах [17]:

- Первым пришел – первым ушел
- Первым пришел – последним ушел

На основе имеющегося внутреннего набора данных о спросе на каждый конкретный товар, по истечению некоторого времени необходимо произвести оптимизацию точек хранения, а именно перенести точки с наибольшим спросом – ближе к местам приемки и отгрузки товаров.

Если принять каждый уровень склада за временный интервал, и пропорционально разделить его на временные зоны доступа к товару, то доступ к товарам в первой временной зоне будет составлять – 1

минуту, доступ к товарам второй временной зоне – 2 минуты и так далее. Перемножив интенсивность доступа к ячейке с ее временной зоной – получим суммарное время, затраченное на выполнение работы по доставке груза:

$$t = \sum_{i=1}^n x_i * y_i, \quad (2)$$

где:  $x_i$  – количество запросов к товару;  
 $y_i$  – время на доступ к товару.

По результатам расчётов получим следующую таблицу, показывающую, сколько времени необходимо на завершение полного цикла переработке всего товара на складе. Так к примеру для 280 товаров из 10 временной группы потребуется 280 \* 10 часов:

Таблица 1.

Совокупное время обработки грузопотока

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
280	585	144	252	222	110	32	21	198	11
340	495	688	518	576	35	392	210	132	72
280	216	552	399	342	420	72	300	104	34
720	342	792	469	432	265	292	147	82	1
350	702	576	567	54	490	236	261	190	12
110	495	720	63	354	145	328	21	182	33
150	288	368	609	558	355	280	156	158	71
190	162	344	658	264	40	80	171	124	83
690	828	296	399	342	400	172	222	20	81
240	243	752	105	126	180	4	132	162	45

Примем алгоритм пузырьковой сортировки [16] к представленной в таблице №2 тепловой карте:

На основе алгоритма пузырьковой сортировки мы получили следующий результат. В данном случае выигрыш во времени достигает 25%.

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1		
7	25	34	39	52	59	65	77	94	97		
14	23	33	41	54	58	75	76	87	98	<b>Точка приемки</b>	
1	18	30	39	47	57	66	76	85	95		
7	15	30	45	55	60	73	77	89	96		
6	15	28	45	46	57	69	82	86	96		
10	17	28	35	49	59	70	75	93	96		
8	23	25	45	46	55	72	75	92	99		
15	23	29	40	45	58	75	78	93	99	<b>Точка отгрузки</b>	
3	19	27	44	49	63	65	82	88	100		
12	23	31	35	55	65	74	79	92	95		

**Рисунок 3. Тепловая карта склада после оптимизации**

Подобные сортировки следует производить постоянно, основываясь на ежеквартальных, ежемесячных, и даже ежедневных данных, если речь идет о товарах с небольшим периодом переработки. Применять оптимизационные подходы к цепи поставок необходимо на каждом из ее участков, особенно эффективно это проявляет себя при условии, что вся цепь контролируется одной компанией, в таком случае объем данных информационного потока открывает огромные возможности для оптимизации процесса [9,14,15].

Но даже если рассматривать участки изолированно друг от друга, то используя даже базовые метрики и алгоритмы можно значительно ускорить процесс доставки груза или уменьшения затрат на его транспортировку. В данной работе был показан один из возможных вариантов оптимизации складского пространства. Примененный один из наиболее эффективных алгоритмов сортировки двумерного массива данных на складе позволил получить выигрыш в производительности почти на 25%, по сравнению с базовым, случайным хранением товаров, т.е. выигрыш во времени составил 7000 часов (22000 часов работы склада против 29000).

### Список литературы

1. Миротин Л.Б. Эффективная логистика / Л.Б. Миротин, Э. Ташбаев, О.Г. Порошина. — М.: "Экзамен", 2002. - 160 с.
2. Логистика: Учебник / А.М. Гаджинский. - 20-е изд. - М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К\*», 2012. - 484 с.
3. Бауэрсокс Д., Клосс Д. Логистика. Интегрированная цепь поставок. – М.: Олимп-Бизнес, 2010. – 640 с.
4. Григорьев М.Н., Уваров С.А., Ткач В.В. Коммерческая логистика. Теория и практика. – М.: Юрайт, 2012. – 490 с.
5. Джеймс С.Джонсон, Дональд Ф.Вуд, Дэниел Л.Вордлоу, Поль Р.Мерфи-мл. Modern logistics (Современная логистика). Учебное пособие. – М.: “Вильямс”, 2015.
6. Дыбская В.В. Управление складированием в цепях поставок. 2009.
7. Бутаев Ш.А., Мирзаахмедов Б.М., Жўраев М.Н., Дўрмонов А.Ш., & Баходиров, Б. (2009). Ташиш жараёнларини моделлаштириш ва оптималлаштириш. Т.: ФАН, 268.
8. Саматов Г.А. Инновационное развитие автомобильного транспорта. – Т.: «Ўзбекистон Миллий энциклопедияси» Давлат илмий нашриёти, 2011.– 256 б.;
9. Жўраев М.Н., Омонов Б.Ш., Кенжаев С.Н. Формирование моделей управления объемами перевозок в соответствии с потребностями потребителей // Universum: технические науки : электрон.научн. журн. 2021. 5(86). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11803>
10. Juraev Muxiddin, Yusufkhanov Zokirkhon, & Akhmedov Dilmurod (2022). MODELING THE SYSTEM OF VEHICLE AND DRIVER ACTIVITY. Universum: технические науки, (1-3 (94)), 71-73.
11. Shermukhamedov A.A., Kuziev A.U. Solution of the problem of optimal distribution of cargo flows in the region and the development of its transport network/ International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD) ISSN (P): 2249–6890; ISSN (E): 2249–8001 Vol. 10, Issue 3, Jun 2020, 11337-11348.
12. Shermukhamedov Abdulaziz Adilkhakovich, & Juraev Mukhiddin Nortojievich (2019). Combinatory method of definition of discrete decisions of the problem of rational distribution of vehicles on radial routes. European science review, (3-4), 118-123.

13. Gwynne Richards, Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. 2011.
14. Жураев М.Н. Ахмедов Д.Т. Мустанов О.Г. Юсуфхонов З.Ю. (2022). ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ НА ХАРАКТЕР КООРДИНАЦИОННОЙ МОДЕЛИ // Universum: технические науки 2(95). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/13179> (дата обращения: 18.03.2022).
15. Yuldoshev Davron, Abdullaev Botir, Yusufkhonov Zokirkhon, & Muminov Tulkin (2022). DETERMINING THE IMPACT OF WEATHER INDICATORS ON PASSENGER TRAFFIC IN PUBLIC TRANSPORT. Universum: технические науки, (1-3 (94)), 64-70.
16. Introduction to Algorithms. Thomas H. Cormen, 1989.
17. Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse. Gwynne Richards, 2011.

DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13401

**КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ПОЛОЖЕНИЙ ДВИЖЕНИЯ ВАГОНА  
С СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ. ЧАСТЬ VI****Джаббаров Шухрат Батирович**

канд. техн. наук, доцент  
кафедры Транспортно-грузовые системы  
Ташкентского государственного транспортного университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [shuhratassistant@gmail.com](mailto:shuhratassistant@gmail.com)

**Саидивалиев Шухрат Умарходжаевич**

канд. техн. наук, доцент  
кафедры Транспортно-грузовые системы  
Ташкентского государственного транспортного университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [shuxratxoja@mail.ru](mailto:shuxratxoja@mail.ru)

**Ортиков Мироншоҳ Содикович**

д-р философии по техническим наукам (PhD),  
Ташкентского государственного транспортного университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент

**Икрамова Диёра Закировна**

ассистент кафедры Транспортно-грузовые системы  
Ташкентского государственного транспортного университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [funny\\_angel94@mail.ru](mailto:funny_angel94@mail.ru)

**A CRITICAL ANALYSIS OF THEORETICAL POSITIONS OF MOVEMENT  
OF THE CARRIAGE ON THE INCLINE MARSHALING HUMP. PART VI****Shukhrat Djabbarov**

PhD, assistant professor  
of Department Transport cargo systems at  
Tashkent State Transport University (TSTU),  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Shukhrat Saidivaliev**

PhD, assistant professor  
of Department Transport cargo systems at  
Tashkent State Transport University (TSTU),  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Mironshokh Ortikov**

Ph.D. (Tech.) Assistant professor  
Tashkent State Transport University (TSTU),  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Diyora Ikramova**

Assistant of Department «Transport cargo systems» at  
Tashkent State Transport University (TSTU),  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**АННОТАЦИЯ**

В статье исследованы движения вагона по наклонной плоскости с идеальной и неидеальной поверхностями. Доказано, что для неидеальных связей формулы, используемые для равномерного ускоренного движения, не применимы для свободного падения.

**ABSTRACT**

The article examines the movement of the car on an inclined plane with ideal and non-ideal surfaces. It is proved that for non-ideal relations of the formulas used for the uniform accelerated motion, are not applicable for free fall.

**Ключевые слова:** железная дорога, станция, сортировочная горка, вагон, идеальные и неидеальные поверхности, неточность существующих теоретических положений.

**Keywords:** railway, station, marshalling hump, car, ideal and non-ideal surfaces, the inaccuracy of the existing theoretical assumptions.

В настоящей статье, как и в [1 – 4], будут обсуждены основные аспекты существующего [5 – 34] и предлагаемого методов расчетов сортировочных горок.

Ознакомившись с содержанием статьи [4], в которой отмечено, что «содержание статьи [2] в [3] рассмотрено без должного внимания и ответы даны без серьезного обоснования», приведем подробные контраргументы на основные доводы, указанные в [2, 4]. Однако, допускаем, что многие контраргументы, описанные в [2], могут быть и спорными, корректными и/или справедливыми (см., например, предпоследний абзац третьей колонки на стр. 22; последний абзац в первой колонке, первый абзац в средней колонке, первый, третий и четвертые абзацы в последней колонке на стр. 23; последний абзац первой колонки и со второго по четвертые абзацы в последней колонке на стр. 24 в [2]). Вместе с тем, контраргументы в защиту единицы измерения удельного сопротивления  $w$  (см. среднюю и последнюю колонки на стр. 23 в [2]) в системе единиц МКГСС, не рекомендованных к использованию ещё в начале 60-х годов прошлого века) в виде кг/т, кгс/тс [и др.] и использованные в XXI веке вместо международной системы единиц измерения СИ для решения прикладных инженерных задач, на наш взгляд, как то недопустимо, поскольку при решении инженерных задач нельзя выбрать произвольную единицу измерения.

Считаем, что любые научные работы, включая [1 – 34], могут иметь спорные моменты, неверные суждения, толкования и всякие «домыслы», требующие обоснований среди специалистов.

Исходя из этого, отметим полезность научной дискуссии по методике конструктивных и технологических расчетов сортировочной горки, начатой на страницах журнала «Бюллетень транспортной информации».

Последовательно и, по возможности, более обстоятельно рассмотрим некоторые аргументы [2, 4] о необоснованной критике существующих методов расчета сортировочных горок.

В [4] отмечено, что «Если авторы [1] считают, что колеса вагонов «скользят» по рельсам и это не противоречит теории движения колеса по железнодорожному пути, то это следует доказать, разъяснить это отличие от общепринятого понимания» (см. последнюю колонку на стр. 36 в [4]).

В соответствии с этим, ниже попытаемся доказать математическими выражениями, сопровождая их примерами расчётов, что на скоростных участках горки происходят качение колес колёсных пар с одновременным скольжением, а в зонах затормаживания на участках тормозных позиций – чистое скольжение колеса по рельсам и разъяснить эти отличия более подробно так, чтобы они были доступны авторам статьи [4].

В [4] отмечено, что «Если авторы [1] считают, что колеса вагонов «скользят» по рельсам и это не противоречит теории движения колеса по железнодорожному пути, то это следует доказать, разъяснить это отличие от общепринятого понимания» (см. последнюю колонку на стр. 36 в [4]).

В соответствии с этим, ниже попытаемся доказать математическими выражениями, сопровождая их примерами расчётов, что на скоростных участках горки происходят качение колес колёсных пар с одновременным скольжением, а в зонах затормаживания на участках тормозных позиций – чистое скольжение колеса по рельсам и разъяснить эти отличия более подробно так, чтобы они были доступны авторам статьи [4].

*О динамике заторможенного вагона на участках тормозных позиций*

До настоящего времени динамика заторможенного вагона на участках тормозных позиций достаточно не изучена. Поэтому считаем целесообразным отметить следующие рассуждения о важности регулирования скоростей в зонах затормаживания вагона (ЗТ) на участках тормозных позиций (ТП). Согласно [6], сортировочные горки большой мощности (ГБМ) оборудуются вагонными замедлителями различных типов [29], которые являются основными тормозными средствами (ТС) для регулирования скоростей скольжения вагонов. При этом потребуются осуществлять торможение двух видов – интервальное и прицельное (целевое) (см. стр. 145 в [6]).

Интервальное торможение обеспечивает необходимые интервалы между вагонами для безопасного прохождения их по стрелочным переводам и тормозным устройствам в пределах спускной части.

Прицельное (целевое) торможение позволяет регулировать скорость движения вагона в зависимости от расстояния, которое он должен пройти на подгочном парке.

Далее в [6] описаны разнообразные факторы (ходовые свойства вагонов, сила тяжести вагонов, требуемой дальности их пробега, наличие кривых и

стрелок по маршруту следования по профилю горки, условий погоды, а также человеческий фактор, т.е. работа дежурных по горке), влияющие на сложность торможения вагонов на сортировочных горках, назначение и важность применения каждой тормозной позиции (1ТП, 2ТП и 3ТП).

Как видно, все то, что накоплено (имеется в виду технология работы сортировочной горки) за предыдущие годы [5 – 10, 13 – 15, 19 – 33], являются весьма важными и полезными при исследовании динамики скатывания вагонов на горках, кроме аналитических и/или эмпирических формул, широко используемых при горочных расчётах. При этом, более спорными являются формулы, применяемые при расчётах скорости скольжения вагона на тормозных позициях [5 – 10, 13 – 15, 19 – 33], корректность вывода которых вызывают возражений.

До сих пор авторы статьи [1, 3] считали решение транспортной задачи по определению времени движения и пути торможения заторможенного вагона на участках тормозных позиций трудноразрешимой задачей (см. для примера [47, 70, 71]). В статьях авторов [2, 4], как и в существующей методике горочных конструктивных и технологических расчётов в [5 – 10, 13 – 15, 19 – 33] такая задача решена с использованием понятия «мощности тормозных позиций» ошибочна (см. вычитаемое в формуле (4) в [4], формулы (64) – (66) в [6]). Здесь ошибка состоит в использовании формулы свободного падения тела (3), применимой только для идеальной связи.

**Принятые допущения.** Предположим, что любые точки вагона, включая его центр масс  $C_B$  и центр масс  $C$  колёсных пар, в зонах затормаживания (ЗТ) на участках тормозных позиций (1ТП, 2ТП и 3ТП) (в дальнейшем – в зонах затормаживания на участках ТП) будут двигаться с одинаковыми скоростями, равными скорости входа вагона  $v_{вх.1т} = v_k$  в эту зону, т.е.  $v_{C_B} = v_C = v_{вх.1т} = v_k = \text{const} > 0$  (см. рис. 13) относительно инерциальной («неподвижной») системы отсчёта  $Ox'y'z'$  (см. рис. 13). Поэтому движение вагона с грузом  $G$  в зонах затормаживания (ЗТ) можно рассматривать как движение системы материальных точек, предполагая всю его массу  $M_B$  сосредоточенной в его центре масс  $C_B$ . При этом за начало отсчёта неподвижной системы отсчёта  $Ox'y'z'$  примем то положение, в котором находилась точка  $C_B$  вагона в начале его затормаживания (см. рис. 13). Поэтому за начало отсчёта времени, т.е. за начальный момент  $t = 0$ , возьмем момент начала затормаживания вагона, движущегося по уклону горки с постоянной скоростью  $v_{н1т} = v_{вх.1т} = v_k = \text{const} > 0$ .

**Математическое описание решение задачи.** Для того, чтобы доказать и разъяснить авторам статьи [4] в общепринятом понимании (см. второй абзац снизу последней колонки на стр. 36 в [4]), покажем решение данной инженерной задачи четырьмя способами на основе применения:

а) основного закона динамики для неидеальных связей (принципа Даламбера) (1-й способ) [22, 27];

б) теоремы о движении центра инерции системы материальных точек [24, 25] (2-й способ);

в) теоремы об изменении кинетической энергии для несвободной материальной точки в конечной форме (3-й способ) (см. стр. 315 в [34], [45];

с) теоремы об изменении количества движения точки (4-й способ) (см. стр. 159 в [34], §4.4.1 в [47]).

**Покажем 1-й способ решение задачи.** Математически опишем движение вагона в зоне затормаживания (ЗТ) на участках ТП сортировочной горки, согласно принципу Даламбера для абсолютного движения твёрдого тела [35, 42, 45, 47] в проекциях на ось  $Ox'$  инерциальной («неподвижной») системы отсчёта  $Ox'y'z'$  (см. рис. 12), в виде (см. формулу (4.57) в [47]):

$$M_{C_B} a_{abc.x} = \sum_{k=1}^n F_{kx}^e + \sum_{k=1}^n R_{kx}^e, \quad (1)$$

где  $M_{C_B}$  и  $a_{abc.x}$  – масса вагона с грузом и проекция абсолютного ускорения центра масс вагона в инерциальной («неподвижной») системе отсчёта  $Ox'y'z'$ ;

$\sum_{k=1}^n F_{kx}^e$  – сумма проекции всех внешних сил  $F_k^e$  (е

франц. *exterieur* – внешний) на неподвижную ось  $Ox'$  (см. систему (35));

$\sum_{k=1}^n R_{kx}^e$  – сумма проекции всех реактивных сил (ре-

акции связей)  $R_k^e$  на неподвижную ось  $Ox'$ .

В последнем выражении обозначено:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx}^e = F_{xi}; \quad \sum_{k=1}^n R_{kx}^e = -F_{ci}.$$

Принимая во внимание последние равенства, перепишем первое уравнение системы в виде:

$$M_{C_B} a_{abc.x} = F_{xi} - F_{ci}, \quad (2)$$

где  $F_{xi}$  – сила, под воздействием которой вагон входит в зону затормаживания (ЗТ) на участках тормозных позиций (ТП) с учетом воздействия проекций силы попутного ветра малой величины  $F_{вх}$  (при неучете этой силы:  $F_{вх} = 0$ ):

$$F_{xi} = G_1 \sin \psi_{ti} + F_{вх} \cos \psi_{ti}, \quad (3)$$

$\psi_{ti}$  – угол уклона на участках тормозных позиций (ТП);

$|F_{ci}|$  – в общем случае сила сопротивления всякого рода (сопротивление в виде сухого трения скольжения контактирующих поверхностей обода колёсных пар и тормозных шин вагонного замедлителя  $F_{трм}$ , основное (или ходовое) сопротивление  $F_{трi} = F_{об}$ , сопротивление от воздушной среды и ветра  $F_{св}$ , сопротивление от снега и инея  $F_{сн}$ ), под воздействием которой может быть заторможен вагон вплоть до его остановки вагонным замедлителем, который может быть принят как доля от силы тяжести вагона с грузом совместно с невращающимися частями (тележек и колёсных пар)  $G_1$ , т.е.  $|F_{ci}| = f(G_1)$ , что не противоречит силовым соотношениям горочных расчётов (см. стр. 141 в [6]).

При этом сила сухого трения  $F_{тр}$ , как основное и/или определяющее сопротивление в зоне затормаживания, появляющаяся при чистом скольжении



контактирующихся поверхностей колёсных пар, рельсовых нитей и тормозных шин вагонного замедлителя в момент «схватывания металла об металл», определяют согласно закону Кулона (см. нестрогое неравенство (33)):

$$F_{\text{три}} \leq f_{\text{T}} G_1 \cos \psi_{\text{ти}}, \quad (4)$$

где  $f_{\text{T}}$  – коэффициент сухого трения при скольжении колёс в моменты «схватывания металла об металл» (обычно для железнодорожных колёс 0,24 или 0,25 [59]), который может быть принят как доля от силы тяжести  $G_1$ , т.е.  $f_{\text{T}} = f(G_1)$ .

Особо оговоримся, что, если в зонах затормаживания на участках тормозных позиций отсутствует «схватывания» металла колёс об металл рельсовых нитей (см. стр. 137 в [72]) и тормозных шин вагонного замедлителя, т.е. еле заметен «шум», «визг» и/или «скрип» в районе сортировочной горки (см. пп. VIII), то невозможно достичь желаемого эффекта затормаживания вагона на этих участках горки, а, следовательно, невозможно обеспечить прицельно-интервальное регулирование скорости вагона по всей протяженности длины пути (см. пп. VI).

Иначе, если в исследуемой зоне нет схватывания металла об металл, например, случайным «замазыванием» этой зоны, то и вовсе не достичь желаемой цели прицельно-интервального регулирования скорости вагона по спускной части горки. При этом выпускаемый с горки вагон будет иметь повышенную скорость при входе на пути сортировочного парка. Такой фактор, безусловно, повлияет на скорость соударения вагона «с группой стоящих вагонов» в расчётной точке (РТ) сортировочной горки. А это, в свою очередь, несомненно, может привести к повреждению выпускаемого вагона и находящихся в нем грузов.

Заметим, что в число силы  $F_{\text{xi}}$ , под воздействием которой вагон входит в зону затормаживания, в уравнение (2) может быть включена проекция силы попутного ветра малой величины  $F_{\text{вх}}$  (например,  $F_{\text{вх}} \approx 3,2$  кН, что ничтожно мало сравнительно с величиной силы тяжести вагона с грузом совместно с невращающимися частями  $G_1 = 794$  кН), если сортировочная горка спроектирована на местности, где направление попутного ветра Юго-Западная, учёт которого предусмотрен в [26] (см. формулу (4.5) и/или (4.7)).

В число силы сопротивления  $|F_{\text{ci}}| = -F_{\text{ти}}$ , под воздействием которой может быть заторможено вагон вплоть до его остановки (т.е.  $v_{\text{ти}} = 0$ ) вагонным замедлителем, допускается включение проекции силы встречного ветра малой величины  $F_{\text{вх}}$  (например,  $F_{\text{вх}} \approx 3,2$  кН), если сортировочная горка спроектирована с учётом климатического условия на местности, где имеет место, например, встречный ветер Юго-Восточного направления, учёт которого также предусмотрен в [26] (см. формулу (4.5) и/или (4.7)).

Отметим, что в зоне затормаживания вагона строго соблюдается условие:

$$F_{\text{xi}} \ll |F_{\text{ci}}| = -F_{\text{ти}}. \quad (5)$$

Причём может быть и так, что значение  $F_{\text{xi}} \approx 0$ , тогда вагон входит в зону затормаживания участка ТП с начальной скоростью  $v_{\text{вх.н}}$ , равной скорости в конце предыдущего участка горки  $v_{\text{к}}$ , т.е.  $v_{\text{вх.н}} = v_{\text{к}}$ , обеспечивая движение вагона в зоне затормаживания до его полной остановки.

Как видно, для неидеальных связей вагона с рельсовыми нитями начальная скорость  $v_{\text{н}} = v_{\text{вх.н}}$  имеет заметное значение в горочных расчётах.

Особо оговоримся, что в действительности сила всякого сопротивления  $|F_{\text{ci}}| = -F_{\text{ти}}$  не есть величина постоянная ( $|F_{\text{ci}}| = -F_{\text{ти}} \neq \text{const}$ ), а по мере уменьшения скорости вагона в зоне затормаживания (ЗТ) на участках тормозных позиций (ТП) эта сила увеличивается, поскольку за время  $t$  секунд затормаживания в зону ЗТ входит почти все колесные пары вагона.

При известных величинах сил  $F_{\text{xi}}$  и  $|F_{\text{ci}}| = |F_{\text{ти}}| = -F_{\text{ти}}$  из уравнения непосредственно находим ускорение движения вагона при скольжении его колёсных пар по тормозным шинам вагонного замедлителя в зоне затормаживания на участках ТП:

$$|a_{\text{абс. xi}}| = \frac{|F_{\text{xi}} - F_{\text{ci}}|}{M_{\text{Св}}} 10^3,$$

где  $i$  – номера участков на всем протяжении профиля пути сортировочной горки ( $i = 1, \dots, 9$ ).

Переобозначая  $a_{\text{абс. xi}}$  через  $a_{\text{kri}}$ , а  $M_{\text{Св}}$  через  $M_{\text{пр0}}$ , и учитывая, согласно (5), что  $|F_{\text{ci}}| = F_{\text{ти}} \gg F_{\text{xi}}$ , последнюю формулу представим в конечном виде [70, 71]:

$$|a_{\text{kri}}| = \frac{|F_{\text{xi}} - F_{\text{ci}}|}{M_{\text{пр0}}} 10^3, \quad (6)$$

где  $|a_{\text{kri}}|$  – ускорение вагона при равнозамедленном движении в зоне затормаживания, имеющее отрицательный знак (здесь  $|a_{\text{kri}}|$  – модуль  $a_{\text{kri}}$  [30]), м/с<sup>2</sup>;

$M_{\text{пр0}}$  – приведённая и/или воображаемая масса вагона с грузом совместно с невращающимися частями (т.е. кузов вагона, тележки и колёсные пары) и/или при чистом скольжении колёсных пар, принуждённо «зажатых» тормозными шинами вагонного замедлителя в зонах затормаживания на участках ТП, как пара сухого трения «сталь по стали», рассчитываемая по формуле, кг.

Вспомним (см. пп. VIII), что относительная ошибка  $\delta M_{\text{пр0}}$  при не учёте массы вращающихся частей (колёсных пар) вагона (что равносильно  $M_{\text{пр0}} = M_{\text{пр}}$ ) составляет 4,2 %, т.е. менее 5 %, которую обычно пренебрегают при выполнении инженерных расчётов.

Как видно, в формуле (6), согласно (5):  $|F_{\text{ci}}| \gg F_{\text{xi}}$ . Поэтому ускорение движения при равнозамедленном движении вагона в зонах затормаживания (ЗТ) на участках 1ТП, 2ТП и 3ТП имеет отрицательный знак [70, 71]:

$$|a_{\text{kri}}| = \frac{|\Delta F_{\text{ти}}|}{M_{\text{пр0}}} 10^3, \quad (7)$$

где  $|\Delta F_{ti}|$  – результирующая сила, под воздействием которой колёсные пары вагона принуждены и/или вынуждены скользить по поверхностям катания рельсовых нитей и тормозным шинам вагонного замедлителя в зонах затормаживания на участках ТП, кН:

$$|\Delta F_{ti}| = F_{xi} + |F_{ci}|; \quad (8)$$

$|a_{kti}| = a_{kti} \cdot \text{sgn} \Delta F_{1ti}$  – функция модуль, причём  $|a_{kti}| = -a_{kti}$ , если  $|\Delta F_{1ti}| < 0$  [49].

Из формулы (7) следует, что при соблюдении условия  $|\Delta F_{1ti}| < 0$  и/или  $|F_{ci}| > F_{xi}$  движение вагона в зоне затормаживания на участке тормозных позиций при начальной скорости  $v_{hti} > 0$  будет равномерно замедленным до того момента, когда скорость  $v$  обращается в нуль (см. стр. 242 в [36]).

Таким образом, формулой (6) и/или (7) математически доказано, что линейное ускорение вагона при равнозамедленном движении в зоне затормаживания на участках ТП сортировочной горки  $|a_{kti}| = -a_{kti}$  зависит от силы  $F_{xi}$ , под воздействием которой вагон входит в зону затормаживания (ЗТ) на участках ТП, силы сопротивлений всякого рода  $|F_{ci}|$ , включая силу сухого трения  $F_{tpi}$ , как основного сопротивления  $F_{oi}$ , а также от массы  $M_{пp0}$  вагона с грузом совместно с невращающимися частями (кузов вагона, тележки и колёсные пары), т.е.

$$|a_{kti}| = f(F_{xi}, F_{ci}, M_{пp0}). \quad (9)$$

Обобщая результаты исследований динамики вагона в зонах затормаживания на участках ТП, можно заключить, что корректность вывода формулы (6) и/или (7) становится очевидным, неоспоримым и не вызывающим возражений, поскольку её вывод опирается на классический принцип теоретической механики [34 – 47].

Как видно, принцип Даламбера, как теоретическая база зависимости (9), позволяет непосредственно определить ускорение движения вагона при его затормаживании на участках ТП горки, сопровождаемая чистым скольжением колёс колёсных пар по контактирующим поверхностям рельсовых нитей и тормозных шин замедлителя (см. предпоследний абзац последней колонки на стр. 36 в [4]), не прибегая к составлению уравнения движения, что является неоспоримым преимуществом этого принципа.

Общеизвестна формула для определения скорости тела из элементарной физики (см. формулу (3) в [70]), применимая для определения скорости скольжения до момента остановки вагона ( $t < t_{ti}$ , где  $t$  – текущее время):

$$v_{kti} = v_{hti} + |a_{kti}| t_{ti}. \quad (10)$$

Учитывая, что, когда одиночный вагон находится в пределах тормозных позиций, в общем случае, скорость вагона практически снижается до нуля (т.е. вагон движется с замедлением вплоть до полной остановки

и/или до прекращения движения вагона) за счёт чистого скольжения обода колёс относительно тормозных шин вагонных замедлителей, из последней формулы получим:

$$0 = v_{hti} + |a_{kti}| t_{ti},$$

откуда определяют время затормаживания вагона  $t_{зати} = t_{ti}$  в зоне затормаживания (ЗТ) тормозных позиций:

$$t_{ti} = \frac{v_{hti}}{|a_{kti}|}. \quad (11)$$

Как видно, время затормаживания вагона  $t_{зати} = t_{ti}$  увеличивается пропорционально начальной скорости  $v_{hti}$ .

Особо оговоримся, что время затормаживания вагона  $t_{зати} = t_{ti}$ , вычисленная согласно формуле (11), имеет отрицательный знак, который означает на замедление движения и на то, что  $t_{ti} < t$  ( $t$  – текущее время) (см. формулу (4.80) на стр. 319 в [47]).

По формуле (10) может быть рассчитана скорость скольжения в зоне затормаживания  $v_{kti}$  до момента остановки вагона (т.е. при  $v_{kti} \neq 0$ ) в момент  $t < t_{ti}$  секунд.

Путь торможения вагона находят по общеизвестной из элементарной физики формуле (см. формулу (4) [70]):

$$l_{kti} = v_{hti} t_{ti} + \frac{1}{2} |a_{kti}| t_{ti}^2. \quad (12)$$

Формула (12) справедлива, согласно формуле (11), до момента  $t_{ti} < t$  ( $t$  – текущее время) вагона в зоне ЗТ (см. стр. 242 в [36]).

Заметим, что время затормаживания вагона  $t_{зат}$  за короткое время  $t_r < t_{зат}$ , при котором  $v_{к.зат} \neq 0$ , может быть подсчитана по формуле скорости (10).

*Пример расчёта.* Для примера рассмотрим участок первой тормозной позиций (1ТП) сортировочной горки. При этом будем учитывать силу попутного ветра малой величины  $F_{вх} \approx 3,2$  кН.

Исходные данные таковы: для малых углов:  $\sin \psi_{1T} = 0,014$  и  $\cos \psi_{1T} = 1$  – уклон профиля пути, рад., или  $i_{1T} = 10$  ‰;  $G = 650$  сила тяжести груза на вагоне, кН;  $G_1 = 794$  – сила тяжести вагона с грузом совместно с невращающимися частями (кузов вагона, тележка и колёсные пары), кН;  $F_{тлх} = 14,31$  – с учётом силы попутного ветра малой величины ( $F_{вх} = 3,2$  кН), кН;  $|F_{ct1}| = -F_{ct1} \approx -222,84$  – модуль силы сопротивлений всякого рода (учёт силы прижатия тормозных колодок вагонных замедлителей типа КЗ-3 или КЗ-5 на обода колёс вагона при скорости входа вагона в зону затормаживания  $v_{вх.т} = 8,5$  м/с:  $F_{торм} = 23,75$  кН (согласно [48]:  $F_{тк} = 90$  или 100 кН); сила трения скольжения колёсных пар о сжатые тормозные шины, как основное сопротивление:  $F_{от1} = 0,25G_1 = 198,5$  кН; от воздушной среды и ветра  $F_{св} = 0,0005G_1 \approx 0,4$  кН; от снега и инея:  $F_{сн} = 0,00025G_1 \approx 0,2$  кН), кН;  $M_{в.гр} = 6,624 \cdot 10^4$  – масса вагона с грузом, кг;  $M_t = 1,468 \cdot 10^4$  – масса двух тележек, кг;  $M_{пp0} =$

$8,869 \cdot 10^4$  – приведённая масса вагона с грузом совместно с невращающимися частями, вычисленная по формуле, кг.

Здесь заметим, что величиной силы попутного ветра малой величины ( $F_{\text{вх}} \approx 3,2$  кН) практически можно пренебречь сравнительно со значением силы трения скольжения колёсных пар о сжатые тормозные шины ( $F_{\text{тр.скл}} = F_{\text{от1}} = 198,5$  кН), т.е.  $F_{\text{вх}} \ll F_{\text{тр.скл}}$  или  $3,2 \ll 198,5$  кН.

Отметим, что для установки тормозных замедлителей на спускной части горки выделены прямые участки, длина которых для верхней (первой) тормозной позиции (ВТП и/или 1ТП) подбирается, согласно паспорта устройств, применяемых на горке, при необходимости установки двух замедлителей (например, согласно табл. 1 в [29], типа КВ-5, НК-14 или ВЗКН). Для укладки ВТП может быть предусмотрен прямой участок длиной 25,52 м и резервирован участок длиной 10 м для возможного повышения мощности тормозных замедлителей по итогам уточненных расчетов.

При этом энергия, погашаемая двумя замедлителями типа КЗ-5, НК-14 или ВЗКН должна быть достаточной, чтобы поглотить энергию, приобретаемую отцепом в процессе скатывания с горки (см. п. 1 в [29]). Например, на верхней тормозной позиции (ВТП) нечётной сортировочной горки станций Екатеринбург-Сортировочная установлены по два замедлителя КЗ-5 мощностью 1,2 м.э.в. каждый (здесь и далее, согласно [26, 29], м.э.в. – метр энергетической высоты).

*Результаты вычислений* [53]. 1) Сила, под воздействием которой вагон стремиться двигаться в зоне затормаживания (см. пояснение к формуле (2) с учетом того, что для малых углов  $\cos\psi_{1r} = 1$ , кН:

$$F_{\text{т1x}} = G_1 i_{r1} + F_{\text{вх}} = 794 \cdot 0,014 + 3,2 = 14,31.$$

2) Сила, оказывающая общее сопротивление движению вагона в зоне затормаживания, кН:  $|F_{\text{ср1}}| \approx -222,84$ .

3) Согласно формуле (8), результирующая сила, под воздействием которой происходит затормаживания вагона на тормозной позиции, кН:

$$\Delta F_{\text{т1}} = F_{\text{т1x}} + |F_{\text{ср1}}| \approx -208,5.$$

Как видно,  $|F_{\text{ср1}}| \gg F_{\text{т1x}}$ .

4) Ускорение движения при равнозамедленном движении вагона в зоне затормаживания (ЗТ) на втором участке тормозного пути (2ТП), согласно формуле (7),  $\text{м/с}^2$ :

$$\begin{aligned} |a_{\text{т1}}| &= -a_{\text{т1}} = |\Delta F_{\text{т1}}| \cdot 10^3 / M_{\text{пр0}} = \\ &= |208,5| \cdot 10^3 / (8,869 \cdot 10^4) \approx -2,351. \end{aligned}$$

5) Покажем графическую зависимость  $|a_{\text{т1}}| = f(M_{\text{пр0}}) = f(M_0)$ , построенная согласно формуле (8) при вариации  $M_{\text{пр0}}$  от  $1,24 \cdot 10^4$  до  $8,869 \cdot 10^4$  с шагом  $\Delta M_{\text{пр0}} = 1,25 \cdot 10^4$  кг (рис. 18).

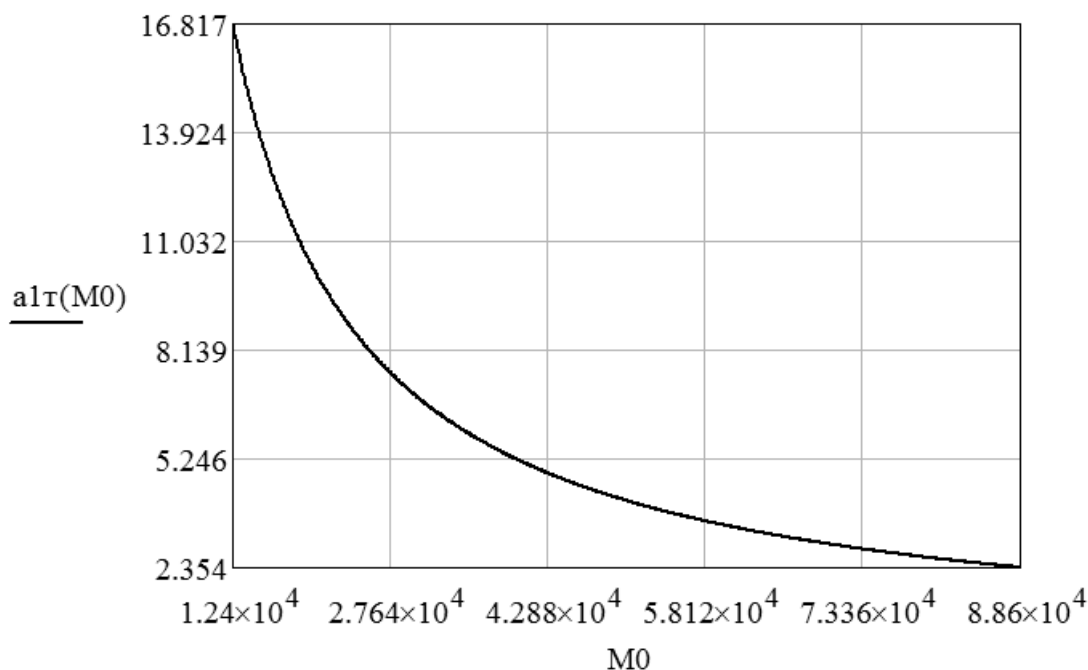


Рисунок 1. Графическая зависимость  $|a_{\text{т1}}| = f(M_0)$

Как видно, графическая зависимость  $|a_{т1}| = f(M_0)$  в соответствии с видом формулы (8) с увеличением значения приведённой массы вагона при невращающихся частях  $M_{пр0}$  уменьшается, асимптотически приближаясь к нулю (см. стр. 94 и 95 в [50]), выражает характер изменение равнозамедленного движения вагона в зоне затормаживания на участках ТП.

6) Вычислим ускорение при равнозамедленном движении вагона в зоне затормаживания (ЗТ) на участке 2ТП по формуле (8), подставив вместо  $M_{пр0}$  значение  $M_{пр}$ ,  $м/с^2$ :

$$|a_{т1}| = |\Delta F_{21}| \cdot 10^3 / M_{пр} = |208,5| \cdot 10^3 / (9,256 \cdot 10^4) \approx -2,253.$$

Относительная ошибка составляет  $\delta|a_{т1}| = 4,18 \approx 4,2\%$ , что меньше, чем точность инженерных расчётов ( $\approx 5\%$ ). Следовательно, при выполнении проекторочных расчётов учёт и/или неучёт момента инерции вращающихся частей не окажет существенное влияние на конечный результат.

*Пример расчёта.* Для примера исследуем участок первой тормозной позиций (1ТП) горки. Исходные данные такие же, как и в примере IX.1.

*Результаты вычислений* [53]. 1) Сила, под воздействием которой вагон стремится двигаться в зоне затормаживания, согласно формуле (3), кН:

$$F_{т1x} = (G_1 i_{1т} + F_{вх}) = (794 \cdot 0,014 + 3,2) \approx 14,31.$$

2) Модуль силы сопротивлений всякого рода, как сопротивление движению вагона в зоне затормаживания, кН:

$$|F_{ст1}| = |(F_{торм} + F_{от1} + F_{св} + F_{сн})| = |(23,75 + 198,5 + 0,4 + 0,2)| \approx -222,84.$$

Здесь особо оговоримся, что сравнительно со значениями силы, оказывающая сопротивление движению вагона в зоне затормаживания ( $F_{торм} = 23,75$  кН) и силы основного сопротивления ( $F_{от1} = 198,5$  кН), влиянием сил сопротивлений от воздушной среды и ветра ( $F_{св} = 0,4$  кН), а также от снега и инея ( $F_{сн} = 0,2$  кН) на движения вагона на участках затормаживания вагона можно пренебречь с относительной ошибкой  $0,27\%$ , что ничтожна мала при выполнении инженерных расчётов.

3) Результирующая сила, под воздействием которой происходит затормаживания вагона на тормозной позиции, согласно формуле (8), кН:

$$|\Delta F_{т1}| = F_{т1x} + |F_{ст1}| = -208,53.$$

Как видно,  $|F_{ст1}| \gg F_{т1}$ , что соответствует соблюдению условия  $f \gg i$  в формуле (21).

4) Согласно формуле (7), ускорение движения при равнозамедленном движении вагона в зоне затормаживания (ЗТ) на участке 2ТП,  $м/с^2$ :

$$|a_{т1}| = -a_{т1} = |\Delta F_{т1}| \cdot 10^3 / M_{пр0} = |208,53| \cdot 10^3 / (8,869 \cdot 10^4) = -2,351.$$

5) Время затормаживания  $t_{зат1} = t_{т1}$ , рассчитанная по формуле (11):  $t_{т1} = 3,37$  с, по истечении которого практически происходит полная остановка вагона  $v_{т1} \approx 0$  м/с.

Заметим, что момент затормаживания вагона  $t$  секунд, меньше, чем  $t_{зат1}$  (т.е.  $t < t_{зат1}$ , где  $t$  – текущее время), при котором  $v_{к.зат1} \neq 0$ , скорость движения может быть подсчитана по формуле (10). Например, при  $t_{т1} = 1,5$  с: скорость вагона при чистом скольжении колёс до момента остановки равна  $v_{к.зат1} = 4,397$  м/с; а при  $t_{т1} = 2,5$  с:  $v_{к.зат1} = 2,046$  м/с, а при  $t_{т1} = 3,0$  с:  $v_{к.зат1} = 0,87$  м/с и, наконец, при  $t = t_{т1} = 3,37$  с:  $v_{к.зат1} = 0$  м/с.

6) Путь затормаживания  $l_{т1}$ , вычисленный по формуле (12), м:

$$l_{т1} = 13,353 \approx 13,4.$$

### Выводы

1. Допускаем, что существующие методики горочных расчётов [4 – 9, 15, 16, 20, 24, 28, 31, 32] разработаны на основании «глубокого» теоретического осмысления результатов широких натуральных экспериментальных исследований по определению удельного сопротивления движению, как неидеальных связей, и носят эмпирический характер.

2. Обстоятельный критический анализ содержания существующих методов расчёта сортировочных горок [2, 4 – 9, 15, 16, 20, 24, 28, 31, 32] позволил выявить следующие неоспоримо грубые ошибки и некорректности, носящие антинаучный характер, что, на наш взгляд, недопустимо, если авторы статьи [4] в силу своих возможностей постарались останавливаться на принципиально важных вопросах контраргументов (см. первый абзац первой колонки на стр. 36 в [4]). Так, например, теоретические положения существующей методики горочных конструктивных и технологических расчётов опираются на известные в теоретической и инженерной механике [36 – 48] понятия о связях (идеальной и неидеальной). Однако, эти несовместимые по физическому смыслу понятия широко использованы, например, в одной и той же формуле для определения расчётной высоты горок и скорости скатывания вагона, как на скоростных участках, так и на тормозных позициях сортировочной горки, что принципиально ошибочно и недопустимо.

Иначе, ошибочно и/или недопустимо применение при решении инженерных задач транспортной науки (где *связи неидеальные*) формул, выведенных для *идеальной связи* (см. формулы (6) и (7) в пп. I).

**Список литературы:**

1. Туранов Х.Т. Некоторые проблемы теоретических предпосылок динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2015, № 3 (237). – С. 29 - 36. ISSN 2072-8115.
2. Рудановский В.М. О попытке критики теоретических положений динамики скатывания вагона по уклону сортировочной горки / В.М. Рудановский, И.П. Старшов, В.А. Кобзев // Бюллетень транспортной информации. 2016. № 6 (252). – С. 19-28. ISSN 2072-8115.
3. Туранов Х.Т. О попытке доказательства нового подхода к исследованию движения вагона по спускной части сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко // Бюллетень транспортной информации, 2016, № 10 (256). – С. 19 - 24. ISSN 2072-8115.
4. Позойский Ю.О. К вопросу движения вагона по уклону железнодорожного пути / Ю.О. Позойский, В.А. Кобзев, И.П. Старшов, В.М. Рудановский // Бюллетень транспортной информации. 2018. № 2 (272). – С. 35-38. ISSN 2072-8115.
5. Образцов В.Н. Станции и узлы. ч. II / В.Н. Образцов. – М.: Трансжелдориздат, 1938. 492 с.
6. Федотов Н.И. Проектирование механизированных и автоматизированных сортировочных горок: пособие / Н.И. Федотов, А.М. Карпов. – Новосибирск: НИИЖТ, 1960. 123 с.
7. Земблинов С.В. Станции и узлы / С.В. Земблинов, И.И. Страковский. – М.: Трансжелдориздат, 1963. 348 с.
8. Земблинов С.В. Станции и узлы / С.В. Земблинов, И.И. Страковский. – М.: Всесоюзн. изд.-полиграфич. объедин., 1963. 89 с.
9. Савченко И.Е. Железнодорожные станции и узлы: учеб. для вузов ж. – д. трансп. / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страковский. – М.: Транспорт, 1967. 466 с.
10. Никитин В.Д. Железнодорожные станции и узлы: Учеб. пособие / В.Д. Никитин, И.Е. Савченко, Е.А. Ветухов, В.К. Ивашкевич. – М.: ВЗИИТ, 1970. 79 с.
11. Парфёнов В.П. Сортировочные горки большой мощности: Пособие к курсовому и дипломному проектированию / В.П. Парфёнов, М.М. Филипов, М.М. Уздин, В.П. Павлов. – Л.: ЛИИЖТ, 1972. 80 с.
12. H. Koenig: Absteuerung auf optimales Einfundallen in die Richtungsglis von Rangierbahnhöfen, Eisenbantechnische Rudschau, 1973.
13. I. Keclik: Mechanika v dopravnim provosu železnic, Alfa Bratislava, 1976.
14. Инструкция по проектированию станций и узлов на железных дорогах. ВСН 56 – 78. – М.: Транспорт, 1978. – С. 151 – 168.
15. Савченко И.Е. Железнодорожные станции и узлы: учеб. для вузов ж. – д. трансп. / И.Е. Савченко, С.В. Земблинов, И.И. Страковский; Под ред. В.М. Акулиничева, Н.Н. Шабалина – М.: Транспорт, 1980. 479 с.
16. Акулиничев В.М. Расчёт и проектирование сортировочных горок большой и средней мощности: учебн. пособ. для вузов ж. – д. трансп. / В.М. Акулиничев, Л.П. Колодий. – М.: МИИТ, 1981. 61 с.
17. P.J. Wong at al.: Railroad Classification Yard Technology Manual, Volume 1: Yard dising Methods, Federal Railroad Administration, Washington, D.C. 1981.
18. R.L. Kiang: Railroad Classification Yard Technology – Assessment of Car Speed Control Systems, SRI: International, Melo Park, California, 1981.
19. F.T. Barwel: Automation and Control of in Transport. Pergamon Press New York, 1983.
20. Железнодорожные станции и узлы: учеб. для вузов ж. – д. трансп. / В.М. Акулиничев, Н.В. Правдин, В.Я. Болотный, И.Е. Савченко. Под ред. В.М. Акулиничева. – М.: Транспорт, 1992. 480 с. (С. 207 – 253).
21. Jiří Prokop. Desing end Control of the Railroad Classification Yard. Master Thesis, The Graduater Schol of Engineering. Okayama University. 1992.
22. Prokop J & Myojin Sh. Desing of Hump Profile in Railroad Classification Yard. Memoirs of the Faculty of Engineering. Okayama University. 1993. Vol. 27. No. 2. P.41-58. Available at: [http://ousar.lib.okayama\\_u.ac.jp/file/15404/Mem\\_Fac\\_Eng\\_OU\\_27\\_2\\_41.pdf](http://ousar.lib.okayama_u.ac.jp/file/15404/Mem_Fac_Eng_OU_27_2_41.pdf)
23. Prokop J & Myojin Sh. Simulation of Hump Perfomancre in Railroad Classification Yard. Memoirs of the Faculty of Engineering. Okayama University. 1993. Vol. 27. No. 2. P.59-71. Available at: [http://ousar.lib.okayama\\_u.ac.jp/file/15404/Mem\\_Fac\\_Eng\\_OU\\_27\\_2\\_59.pdf](http://ousar.lib.okayama_u.ac.jp/file/15404/Mem_Fac_Eng_OU_27_2_59.pdf)
24. Проектирование сортировочных горок большой и средней мощности. Методические указания / Сост. В.С. Суходоев, Ю.И. Ефименко. – С.-Пб.: ПГУПС, 1997. 35 с.
25. I. Daněk a kol.: Dopravni provos železnic, Alfa Bratislava, 1998.
26. Zhang C., Wei Y., Wang Z., Fu J. Analisys of Hump Automation in China. Proc. of Second Intern. Conf. on Transportation and Trafic Studies, 2000, pp. 285-290. doi: 10.1060/40503 (277)45.

27. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1 520 мм. – М.: ТЕХИНФОРМ, 2003. – 168 с.
28. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчёты): Учебное пособие для вузов ж. – д. трансп. / Н.В. Правдин, В.Г. Шубко, Е.В. Архангельский и др.; Под ред. Н.В. Правдина и В.Г. Шубко. – М.: Маршрут, 2005. 502 с.
29. Zářecký, S & Grůň, J & Žilka, J. The Rewest Trends in Marshalling Yards Automation. Transport Problems. Problemy Transporty, 2008. Vol. 3. No. 4. P.87-95. Available at: [http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2008/zeszyt4/2008t3z4\\_13.pdf](http://transportproblems.polsl.pl/pl/Archiwum/2008/zeszyt4/2008t3z4_13.pdf)
30. Инструкция по расчёту максимально допустимой длины отцепа при роспуске на сортировочных горках (Утверждён 24.12.2012). – М.: ОАО «РЖД», 2012. 10 с.
31. Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы): учебник / Н.В. Правдин, С.П. Вакуленко, А.К. Голович и др.; под ред. Н.В. Правдина и С.П. Вакуленко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. 1086 с.
32. Железнодорожные станции и узлы: учебник / В.И. Апатцев и др.; под ред. В.И. Апатцева и Ю.И. Ефименко. – М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 855 с.
33. D.M. Kozschenko, V.I. Bobrovsky, S.V.Grevtsov, M.I. Berezobyi. Controlling the Speed of Rolling Cuts in Conditions of Reduction of Brake Opwer of Car Retardes. Наука та прогресс транспорту. Вісник Дніпропетровського націон. універ. залізничного транспорту, 2016. №3 (63). – С.28-40. ISSN 2307-3489.
34. V. Bobrovsky, D. Kozschenko, A. Dorosh, E. Demchenko, T. Bolovanovska, A. Kolesnik. Probabilistic Approach for the Determiation of Cuts Permissible Braking Moders on the Gravity Humps. Transport Problems. Problemy Transporty, 2016. Vol. 3. Issue I. P.147-155. doi: 10.20858/tp.2016.11.1.14.
35. Суслов Г.К. Теоретическая механика / Г.К. Суслов. Под редакцией Н.Н. Бухгольца и В.К. Гольцмана. – М. – Л.: ГИТТЛ, 1946. – 647 с.
36. Николай Е.Л. Теоретическая механика. Ч.II. Динамика / Е.Л. Николай. – М. – Л.: ГИФМЛ, 1952. 484 с.
37. 36. Воронков И.М. Основной курс теоретической механики / И.М. Воронков. – М.: ГИТТЛ, 1957. 596 с.
38. Николай Е.Л. Теоретическая механика. Ч.І. Статика. Кинематика / Е.Л. Николай. – М.: ГИФМЛ, 1958. 280 с.
39. Тимошенко С.П. Инженерная механика / С.П. Тимошенко, Д. Юнг. – М.: Машгиз, 1960. 507 с.
40. Бать М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах. В 3 т. Т. 2 (специальные главы механики) / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – М.: Наука, 1966. 663 с. – С. 102–112, 335 – 389.
41. Бухголец Н.Н. Курс теоретической механики. Ч.І. / Н.Н. Бухголец. – М.: Наука, 1967. – 467 с.
42. Добронравов В.В. Краткий курс теоретической механики: учебник для втузов / В.В. Добронравов, Н.Н. Никитин, А.Л. Дворников. – М.: Высш. шк., 1968. 624 с.
43. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутенин, А.Я. Лунц, Д.Р. Меркин. – СПб.: Изд-во «Лань», 1998. 736 с.
44. Лойцянский Л.Г. Курс теоретической механики. В 2-х томах. Т.ІІ. Динамика / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. – М.: Наука, 1983. 640 с.
45. Туранов Х.Т., Илесалиев Д.И., Джаббаров Ш.Б., Саидивалиев Ш.У. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник, 2021. №3. 47-53.
46. Саидивалиев Ш.У., Джаббаров Ш.Б., Адилов Н.Б., Хожиев Н.К., Бозоров Р.Ш. Об отсутствии теоретической базы формулы для определения высоты первого профильного участка сортировочного горба // Инновации. Наука. Образование. 2021. № 34. С. 1467-1481.
47. Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Саидивалиев Ш.У., Джаббаров Ш.Б. О вычислении профильной высоты головного участка сортировочной горки // Бюллетень транспортной информации. 2019. № 12 (294). С. 15-20.
48. K. Turanov, A. Gordienko, S. Saidivaliev, S. Djaborov. Designing the height of the first profile of the marshalling hump. E3S Web of Conferences, Vol. 164, 03038 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016403038>.
49. Эйнштейн А. Эволюция физики / пер. с англ. С.Г. Суворова. А. Эйнштейн, Л. Инфельд. – М.: Молодая гвардия, 1966. 272 с.
50. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов: Учебн. пос. / И.Н.Бронштейн, К.А. Семендяев. – СПб.: Изд-во «Лань», 2009. 608 с.
50. Макаров Е.Г. Mathcad: Учебный курс (+CD). – СПб.: Питер, 2009. 384 с.
51. Иванов П.С. Кинетика усталостного разрушения рельсовых плетей железнодорожного пути по дефектам в подошве рельса / П.С. Иванов. – Нижний Новгород: ДЦНТИ ГЖД, 2009. 74 с.

52. Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Саидивалиев Ш.У., Джаббаров Ш.Б. О неточности формулы воздушного сопротивления при движении вагона по профилю сортировочной гоки // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2020. № 9. С. 34-39.
53. Saidivaliev S., Bozorov R., Shermatov E. Kinematic characteristics of the car movement from the top to the calculation point of the marshalling hump // В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, CONMECHYDRO 2021" 2021.
54. Сатторов С.Б., Махматкулов Ш.Г., Икрамова Д.З., Дехконов М.М. Определение потребной провозной способности на железнодорожном участке Ахангаран - Тукимачи –Сырдарьинская // Вестник КемРИПК. 2019. № 1. С. 93-101.
55. Махматкулов Ш.Г., Икрамова Д.З., Дехконов М.М. Применение различных схем размещения контейнеров в зоне основного хранения терминала // В сборнике: Транспорт России: проблемы и перспективы - 2018. Материалы международной-научно-практической конференции. 2018. С. 249-252.
56. Мерганов А.М., Светашев А.А., Илесалиев Д.И. Рациональный способ размещения тарно-упаковочных грузов в автотранспортных средствах //Инновационный транспорт. – 2019. – №. 3. – С. 32-36.
57. K. Turanov, A. Gordienko, S. Saidivaliev, S. Djaborov. Movement of the wagon on the marshalling hump under the impact of air environment and tailwind. E3S Web of Conferences, Vol. 164, 03041 (2020). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016403041>
58. Turanov K., Gordienko A., Saidivaliev S., Djaborov S., Djalilov K. (2021) Kinematic Characteristics of the Car Movement from the Top to the Calculation Point of the Marshalling Hump. In: Murgul V., Pukhkal V. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1258. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-030-57450-5_29)
59. Туранов Х.Т., Саидивалиев Ш.У. Определение кинематических параметров движения вагона на участках тормозных позиций сортировочной горки // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2019. Т.9. №1. С. 21-26. (<https://doi.org/10.18503/2222-9396-2019-9-1-21-26>).
60. Мерганов А.М. Анализ теоретических подходов в области пакетных перевозок грузов // Логистические системы в глобальной экономике. – 2020. – №. 10. – С. 198-200.
61. Мерганов А.М. и др. Методика поиска рационального способа размещения барабанов с кабелем в универсальных контейнерах // Инновационный транспорт. – 2020. – №. 2. – С. 27-32.
62. Кобулов Ж.Р., Баротов Ж.С. Организация движения сборных поездов между техническими станциями при доставке грузов // Известия трассиба научно-технический журнал. 2020 №4(44). – С. 104 – 111.
63. Кобулов Ж.Р., Баротов Ж.С., Ташматова М.С. К вопросу о комплексном решении задачи совершенствования срока доставки грузов на железнодорожном транспорте // Universum: Технические науки. 2021. №: 5(86). – С. 13 – 20.
64. Kobulov J, Barotov J. Method of Improvement of Efficiency Transportation Technology. // International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). Volume-8 Issue-4, November 2019. 7720-7726 pp.
65. Мерганов А.М. Сопоставление вариантов перевозки тарно-штучных грузов //Universum: технические науки. – 2020. – №. 11-2 (80). – С. 19-21.
66. Абдувахитов Ш.Р., Мерганов А.М., Азимов Ф.К. Повышение перерабатывающей способности терминала за счет применения DEF и GBYR-анализа //Инновационный транспорт. – 2021. – №. 1. – С. 25-28.
67. K.T. Turanov, S.U. Saidivaliev, D.I. Ilesaliev. Determining the kinematic parameters of railcar motion in hump yard retarder positions // Structural integrity and life vol. 20, no 2 (2020), pp. 143–147.
68. Туранов Х.Т., Гордиенко А.А., Саидивалиев Ш.У. О подходе к определению некоторых кинематических параметров движения вагона на тормозных позициях сортировочных горок // International Journal of Advanced Studies. 2018, Vol 8, №4. С. 122 - 136. DOI: 10.12731/2227-930X-2018-4-122-136. ISSN 0236-1914.

DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13387

**МОДЕЛИРОВАНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ КОЛЕСНО-МОТОРНОГО БЛОКА  
ТЕПЛОВОЗА UZTE16M****Файзибаев Шерзод Сабирович**

д-р. техн. наук, проф. кафедры Вагоны и вагонное хозяйство,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, Ташкент  
E-mail: [sherzod\\_fayzibaev@mail.ru](mailto:sherzod_fayzibaev@mail.ru)

**Авдеева Анна Николаевна,**

доц. кафедры Материаловедения и машиностроение,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [nyusik22@mail.ru](mailto:nyusik22@mail.ru)

**Мамаев Шерали Иброхимович**

ст. преподаватель кафедры Материаловедения и машиностроение,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [mamayevsherali@gmail.com](mailto:mamayevsherali@gmail.com)

**Турсунов Шукуралӣ Эхсонович**

ст. преподаватель кафедры Материаловедения и машиностроение,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [tursunovshukurali@mail.com](mailto:tursunovshukurali@mail.com)

**Нигматова Дилноза Исламовна**

ст. преподаватель кафедры Материаловедения и машиностроение,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [islamovna.dilnoza@gmail.com](mailto:islamovna.dilnoza@gmail.com)

**MODELING OF TORSIONAL VIBRATIONS OF THE WHEEL-MOTOR UNIT  
OF THE UZTE16M DIESEL LOCOMOTIVE****Sherzod Fayzibaev**

Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department Wagons and Wagon Economy of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

**Anna Avdeeva**

docent of the Department  
Materials Science and Mechanical Engineering of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

**Mamaev Sherali**

Senior lecturer  
of the Department Materials Science and Mechanical Engineering of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

**Dilnoza Nigmatova**

Senior lecturer  
of the Department Materials Science and Mechanical Engineering of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent



Shukurali Tursunov

Senior lecturer  
 of the Department Materials Science and Mechanical Engineering of TSTU,  
 Uzbekistan, Tashkent

**АННОТАЦИЯ**

В данной статье рассмотрен метод определения крутильных колебаний, возникающих в колесно-моторном блоке тепловозов UZTE16M, которые модернизированы в УК «Узтемирйулмаштаъмир» при АО «Узбекистон темир йуллари». Разработана динамическая модель колесно-моторного блока, созданная с целью вывода математической модели крутильных колебаний, с учётом закона сохранения энергии, в среде MATHCAD 15.

**ABSTRACT**

This article discusses a method for determining torsional vibrations that occur in the wheel-motor block of diesel locomotives UZTE16M, which are modernized in the management company «UZTEMIRYO'LMASHTAMIR» at JSC «Uzbekistan Temir Yollari». A dynamic model of a wheel-motor unit has been developed, created to derive a mathematical model of torsional vibrations, taking into account the law of conservation of energy, in the MATHCAD 15 environment.

**Ключевые слова:** колесо, мотор, локомотив, редуктор, колебания, амплитуда, масса, жесткость, кинематика.

**Keywords:** wheel, motor, locomotive, gearbox, vibrations, amplitude, mass, stiffness, kinematics.

**Введение.** В АО «Узбекистон темир йуллари» осуществляются задачи не только по регулярным и бесперебойным перевозкам грузов широкого назначения, но и по повышению экономии использования как локомотивов, так и тепловозов. Центральным узлом любого подвижного состава, и в частности тепловоза типа UzTE16M, является колёсно-моторный блок, который после первого же ремонта резко снижает силу тяги локомотива, и уменьшает коэффициент сцепления колеса с рельсами. Процесс ремонта требует кардинального усовершенствования, который невозможен без создания математической модели и динамической модели.

Взаимодействие колесно-моторного блока локомотива с рельсами является наиболее ответственным фактором воздействия на механическую часть подвижного состава. В состав колесно-моторного блока входит колесная пара, буксовый узел, редуктор, упругая муфта и тяговый электрический двигатель.

Определенный вклад в решение научных проблем моделирования механических колебаний колесно-моторных блоков локомотивов и их технического диагностирования внесли А.Д. Глущенко, М.Д. Глущенко, В.И. Киселев, В.Н. Жидков, Ш.С. Файзибаев,

Г.А. Хромова, Н.Е. Конюхов, М.Ф. Зарипов, Н.М. Усмонхужаев и др. Усилиями этих ученых разработаны и развиты теоретические основы моделирования механических колебаний колесно-моторных блоков локомотивов и их технического диагностирования, в том числе методы моделирования колебаний валов тяговых электрических двигателей, предложены и внедрены в производство оригинальные конструкции и схемные решения этих систем и их технических средств. Вместе с этим не уделено достаточного внимания совершенствованию методов моделирования механических колебаний колесно-моторных блоков локомотивов с учетом комплексного воздействия внешних вибраций и разработке усовершенствованной методики их диагностирования с целью продления срока полезной эксплуатации [1-4].

**Целью исследования** является моделирование механических колебаний колесно-моторных блоков магистральных тепловозов, усовершенствование методики расчёта.

**Метод.** Для расчета крутильных колебаний вала якоря ТЭД необходимо рассмотреть всю систему колесно-моторного блока (КМБ) в целом.

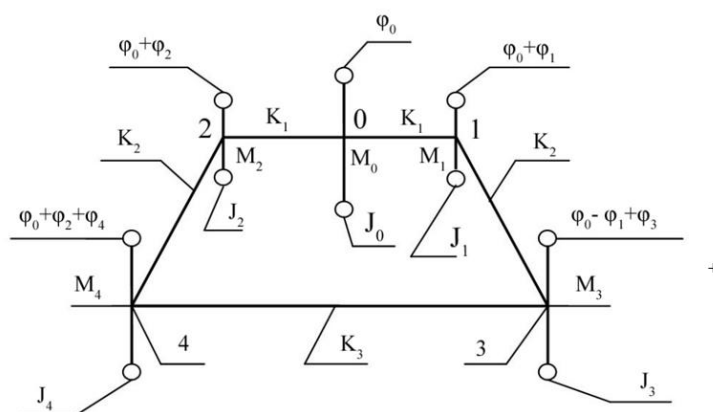


Рисунок 1. Расчетная схема крутильных колебаний колесно-моторного блока (КМБ) тепловоза UzTE16M

Блок тепловоза UzTE16M выполнен с опорно-осевой подвеской тягового электродвигателя ЭД118Б(А) и односторонней зубчатой передачей. Мощность дизеля тепловоза реализуется через зубчатое колесо, в виде сил тяги, при взаимодействии колесных пар с рельсами. Тяговый электродвигатель ЭД118Б(А) одной стороной жестко опирается на ось колесной пары через моторно-осевые подшипники, а другой стороны соединяется через пружинную подвеску с рамой тележки. При такой подвеске практически половина массы ТЭД жестко связана с неподрессоренными массами колесной пары и составляет на одном КМБ около 4250 кг, что вызывает возникновение значительных механических колебаний на валах в системе «железнодорожный путь - колесная пара – тяговый двигатель», как крутильных, так изгибных и продольных [5-13].

Расчетная схема КМБ показана на рисунке 1, на которой выделены точки 0, 1, 2, 3, 4 связей и:

- моменты инерции якоря ТЭД –  $J_0$  и участков вала якоря, и шестерни  $J_1, J_2$ , зубчатых колес и участков оси колесных пар  $J_3, J_4$ ;
- жесткости при кручении между точками закрепления 0 и 1 –  $K_1$ , 0 и 2 –  $K_1$ , 1 и 3 –  $K_2$ , 2 и 4 –  $K_2$ , 4 и 3 –  $K_3$ ;
- $\varphi_0(t)$  – угол поворота якоря ТЭД относительно статора, учитывающий функции вращательного (кинематического) движения всех масс  $J$ ;
- углы упругих колебаний массовых моментов инерции  $J_1$  и  $J_2$  относительно  $J_0 \rightarrow \varphi_1(t)$  и  $\varphi_2(t)$ ,  $J_3$  относительно  $J_1 \rightarrow \varphi_3(t)$ ,  $J_4$  относительно  $J_2 \rightarrow \varphi_4(t)$ ,  $J_3 \rightarrow \varphi_1(t) + \varphi_3(t)$  и  $J_4 \rightarrow \varphi_2(t) + \varphi_4(t)$ ;
- движущий момент  $M_0$  в точке 0 и момент сопротивления вращению  $M_3$  и  $M_4$  передающийся через участки упругих связей 0, 1, 3 и 0, 2, 4.

Колебания моментов инерции системы характеризуются совокупностью углов крутильных колебаний:

$$\begin{aligned} J_0 &\rightarrow \varphi_0(t); J_1 \rightarrow (\varphi_0(t) + \varphi_1(t)); J_2 \\ &\rightarrow (\varphi_0(t) + \varphi_2(t)); \\ J_3 &\rightarrow (\varphi_0(t) + \varphi_1(t) + \varphi_3(t)); J_4 \\ &\rightarrow (\varphi_0(t) + \varphi_2(t) + \varphi_4(t)). \end{aligned}$$

Для вывода уравнений колебаний моментов инерции использовался метод Лагранжа и функции: Кинетической энергии:

$$T = \frac{1}{2} \cdot \left[ J_0 \cdot \dot{\varphi}_0^2 + J_1 \cdot (\dot{\varphi}_0 + \dot{\varphi}_1)^2 + J_2 \cdot (\dot{\varphi}_0 + \dot{\varphi}_2)^2 + J_3 \cdot (\dot{\varphi}_0 + \dot{\varphi}_1 + \dot{\varphi}_3)^2 + J_4 \cdot (\dot{\varphi}_0 + \dot{\varphi}_2 + \dot{\varphi}_4)^2 \right] \quad (1)$$

Потенциальной энергии:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \left[ K_1 \cdot \varphi_1^2 + K_1 \cdot \varphi_2^2 + K_2 \cdot \varphi_3^2 + K_2 \cdot \varphi_4^2 + K_3 \cdot (\varphi_1 + \varphi_3 - \varphi_2 - \varphi_4)^2 \right] \quad (2)$$

Работы внешних сил (крутящих моментов):

$$\delta A = M_0 \cdot \delta \varphi_0 - M_3 \cdot (\delta \varphi_0 + \delta \varphi_1 + \delta \varphi_3) - M_4 \cdot (\delta \varphi_0 + \delta \varphi_2 + \delta \varphi_4) \quad (3)$$

Уравнение Лагранжа по каждой координате  $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$  в виде:

$$\frac{\partial}{\partial t} \cdot \left[ \frac{\partial}{\partial \dot{\varphi}_i} \right] + \frac{\partial T}{\partial \varphi_i} = \frac{\delta A}{\delta \varphi_i} \quad (4)$$

По координате  $\varphi_0$ :

$$\ddot{\varphi}_0 \cdot (J_0 + J_1 + J_2 + J_3 + J_4) + \dot{\varphi}_1 \cdot (J_1 + J_3) + \dot{\varphi}_2 \cdot (J_2 + J_4) + \dot{\varphi}_3 \cdot J_3 + \dot{\varphi}_4 \cdot J_4 = M_0 - M_3 - M_4 \quad (5)$$

По координате  $\varphi_1$ :

$$\ddot{\varphi}_0 \cdot (J_1 + J_3) + \dot{\varphi}_1 \cdot (J_1 + J_3) + K_1 \cdot \varphi_1 + K_3 \cdot \varphi_1 + \dot{\varphi}_3 \cdot J_3 = -M_3 \quad (6)$$

По координате  $\varphi_2$ :

$$\ddot{\varphi}_0 \cdot (J_2 + J_4) + \dot{\varphi}_2 \cdot (J_2 + J_4) + K_1 \cdot \varphi_2 - K_3 \cdot \varphi_2 + \dot{\varphi}_4 \cdot J_4 = -M_4 \quad (7)$$

По координате  $\varphi_3$ :

$$\ddot{\varphi}_0 \cdot J_3 + \dot{\varphi}_3 \cdot J_3 + K_2 \cdot \varphi_3 + K_3 \cdot \varphi_3 = -M_3 \quad (8)$$

По координате  $\varphi_4$ :

$$\ddot{\varphi}_0 \cdot J_4 + \dot{\varphi}_4 \cdot J_4 + K_2 \cdot \varphi_4 - K_3 \cdot \varphi_4 = -M_4 \quad (9)$$

Решения полученной системы уравнений учитывают составляющие от решений:

- системы однородных уравнений, когда  $M_i = 0$  и  $\ddot{\varphi}_0(t) = 0$ ;
- системы с переменным вращением, когда  $\ddot{\varphi}_0(t) \neq 0$ ;
- когда действуют на систему переменные нагрузки  $M_i \neq 0$ .

Первый вариант решения системы (5) ÷ (9) выполнили для условий неравномерного вращения масс модели колесно-моторного блока:

$$\ddot{\varphi}_0(t) = \bar{\varphi}_0 \cos(\omega \cdot t) \quad (10)$$

где:  $\bar{\varphi}_0$  – амплитуда ускорений круговой частоты  $\omega$ .  
Решение системы выполнили в виде функций:

$$\begin{aligned} \varphi_1(t) &= \varphi_1 \cos(\omega \cdot t); \varphi_2(t) = \varphi_2 \cos(\omega \cdot t); \\ \varphi_3(t) &= \varphi_3 \cos(\omega \cdot t); \varphi_4(t) = \varphi_4 \cos(\omega \cdot t) \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\varphi_i$  – амплитуды колебаний масс модели по рисунку 1.

После подстановки производных по времени от (11) в (5) ÷ (9) получили систему алгебраических уравнений для определения амплитуд  $\varphi_i$ :

$$\begin{aligned} -\varphi_1 \cdot \omega^2 \cdot (J_1 + J_3) - \varphi_2 \cdot \omega^2 \cdot (J_2 + J_4) - \varphi_3 \cdot \omega^2 \cdot J_3 - \varphi_4 \cdot \omega^2 \cdot J_4 = \\ = \varphi_0 \cdot \omega^2 \cdot (J_0 + J_1 + J_2 + J_3 + J_4) = B_1 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \varphi_1 \cdot [K_1 + K_3 - \omega^2 \cdot (J_1 + J_3)] - \varphi_3 \cdot \omega^2 \cdot J_3 = \\ = \varphi_0 \cdot \omega^2 \cdot (J_1 + J_3) = B_2 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\varphi_2 \cdot [K_1 - K_3 - \omega^2 \cdot (J_2 + J_4)] - \varphi_4 \cdot \omega^2 \cdot J_4 = \varphi_0 \cdot \omega^2 \cdot (J_2 + J_4) = B_3 \quad (14)$$

$$\varphi_3 \cdot [K_1 + K_3 - \omega^2 \cdot J_3] = \varphi_0 \cdot \omega^2 \cdot J_3 = B_4 \quad (15)$$

$$\varphi_4 \cdot [K_2 - K_3 - \omega^2 \cdot J_4] = \varphi_0 \cdot \omega^2 \cdot J_4 = B_5 \quad (16)$$

Ввели обозначения коэффициентов для  $\varphi_i$  в (12) ÷ (16):

$$\begin{aligned} A_{11} \cdot \varphi_1 + A_{12} \cdot \varphi_2 + A_{13} \cdot \varphi_3 + A_{14} \cdot \varphi_4 &= B_2 \\ A_{21} \cdot \varphi_1 + A_{22} \cdot \varphi_2 + A_{23} \cdot \varphi_3 + A_{24} \cdot \varphi_4 &= B_3 \\ A_{31} \cdot \varphi_1 + A_{32} \cdot \varphi_2 + A_{33} \cdot \varphi_3 + A_{34} \cdot \varphi_4 &= B_4 \\ A_{41} \cdot \varphi_1 + A_{42} \cdot \varphi_2 + A_{43} \cdot \varphi_3 + A_{44} \cdot \varphi_4 &= B_4 \end{aligned} \quad (17)$$

Эта система уравнений может быть решена методом определителей (методом Гаусса) с использованием ЭВМ в среде программирования MATHCAD 15. Для этого вначале получили определитель из коэффициентов при  $\varphi_1$ :

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{vmatrix} \approx A_{11} \cdot A_{22} \cdot A_{33} \cdot A_{44} \quad (18)$$

После этого получили формулы для  $\varphi_j$ :

$$\varphi_1 = \frac{1}{\Delta_1} \cdot \begin{vmatrix} B_1 & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ B_2 & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ B_3 & A_{32} & A_{33} & A_{34} \\ B_4 & A_{42} & A_{43} & A_{44} \end{vmatrix} \approx B_1 \cdot A_{22} \cdot A_{33} \cdot A_{44} : \Delta_1 \quad (19)$$

$$\varphi_2 = \frac{1}{\Delta_1} \cdot \begin{vmatrix} A_{11} & B_1 & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & B_2 & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & B_3 & A_{33} & A_{34} \\ A_{41} & B_4 & A_{43} & A_{44} \end{vmatrix} \approx A_{11} \cdot B_2 \cdot A_{33} \cdot A_{44} : \Delta_1 \quad (20)$$

$$\varphi_3 = \frac{1}{\Delta_1} \cdot \begin{vmatrix} A_{11} & A_{12} & B_1 & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & B_2 & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & B_3 & A_{34} \\ A_{41} & A_{42} & B_4 & A_{44} \end{vmatrix} \approx A_{11} \cdot A_{22} \cdot B_3 \cdot A_{44} : \Delta_1 \quad (21)$$

$$\varphi_4 = \frac{1}{\Delta_1} \cdot \begin{vmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{13} & B_1 \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & B_2 \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & B_3 \\ A_{41} & A_{42} & A_{43} & B_4 \end{vmatrix} \approx A_{11} \cdot A_{22} \cdot A_{33} \cdot B_4 : \Delta_1 \quad (22)$$

Или

$$\varphi_1 = \frac{\omega^2 \cdot (J_1 + J_3) \cdot \varphi_0}{K_1 - \omega^2 \cdot (J_1 + J_3)} \quad (23)$$

$$\varphi_2 = \frac{\omega^2 \cdot (J_2 + J_4) \cdot \varphi_0}{K_1 - \omega^2 \cdot (J_2 + J_4)} \quad (24)$$

$$\varphi_3 = \frac{\omega^2 \cdot J_3 \cdot \varphi_0}{K_2 - \omega^2 \cdot J_3} \quad (25)$$

$$\varphi_4 = \frac{\omega^2 \cdot J_4 \cdot \varphi_0}{K_2 - \omega^2 \cdot J_4} \quad (26)$$

для данной модели условиями возбуждения колебаний являются:

$K_1 - \omega^2 \cdot (J_1 + J_3) = 0$ , откуда получена формула для определения частоты собственных колебаний:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{K_1}{J_1 + J_3}} \quad (27)$$

$K_1 - \omega^2 \cdot (J_2 + J_4) = 0$ , откуда:

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{K_1}{J_2 + J_4}} \quad (28)$$

$K_2 - \omega^2 \cdot J_3 = 0$ , откуда:

$$\omega_3 = \sqrt{\frac{K_2}{J_3}} \quad (29)$$

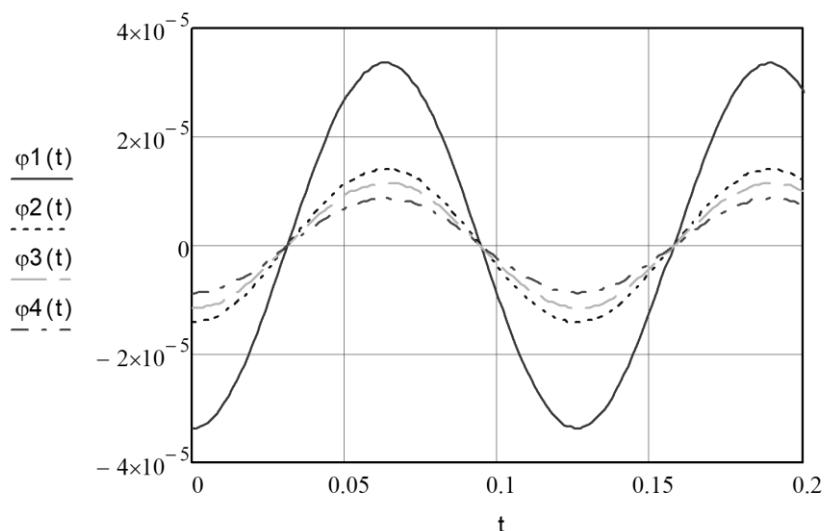
$K_2 - \omega^2 \cdot J_4 = 0$ , откуда:

$$\omega_4 = \sqrt{\frac{K_2}{J_4}} \quad (30)$$

**Результаты.** Численные исследования проведены в среде программирования MATHCAD 15 для модели крутильных колебаний в колесно-моторном блоке тепловоза UzTE16M. Результатов расчетов крутильных колебаний в колесно-моторном блоке тепловоза UzTE16M приведены на рисунках 2,3.

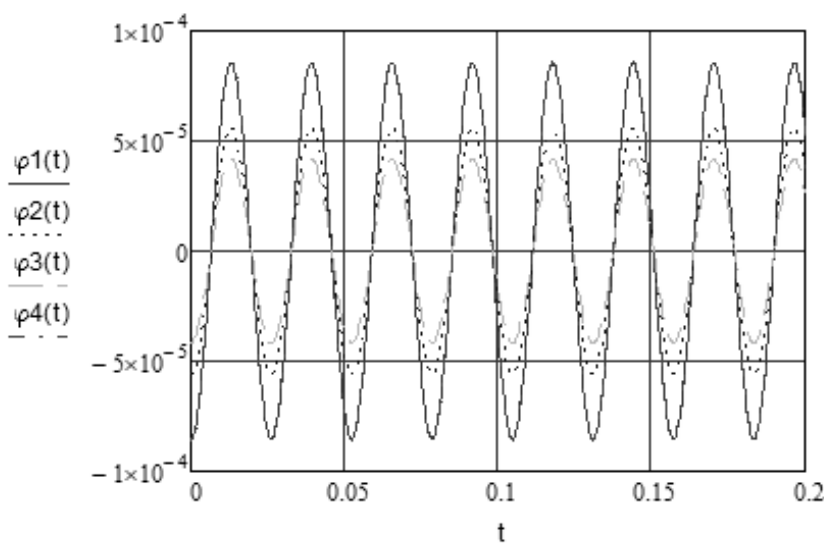
Для численных исследований были приняты 2 основных режима нагружения по частоте вращения якоря [14, 15]:

- при длительном режиме частота вращения якоря ТЭД ЭД-118А составляет  $n = 476$  об/мин;



**Рисунок 2. Изменение амплитуд крутильных колебаний по массам колесно-моторного блока тепловоза UzTE16M**

- при максимально нагруженном режиме частота вращения якоря ТЭД ЭД-118А составляет  $n = 2290$  об/мин.



**Рисунок 3. Изменение амплитуд крутильных колебаний по массам колесно-моторного блока тепловоза UzTE16M**

**Выводы.** В результате исследования был разработан новый метод расчета крутильных колебаний в колесно-моторном блоке тепловоза UzTE16M. Установлено, что при увеличении частоты вращения

якоря ТЭД тепловоза UzTE16M будет увеличиваться амплитуда крутильных колебаний КМБ и уменьшается период колебаний КМБ.

**Список литературы:**

1. Глущенко А.Д., Юшко В.И. Динамика тяговых электродвигателей электровозов. Ташкент: Изд-во «Фан», 1980. - 168 с.
2. Динамика локомотивов / М.А. Ибрагимов, В.И. Киселев, В.А. Рамлов, А.В. Скалин: Уч. пос.-М.: РГОТУПС, 2005.- 128 с.
3. Хвостов В.С. Электрические машины. М: Высшая школа. 1988. -344 с.
4. Ротанов Н.А., Захарченко Д.Д. Тяговые электрические машины. М.: Транспорт. 1991. – 324 с.
5. Механическая часть подвижного состава. / Под ред. И.С. Бирюкова, А.Н. Савоськина и др. М.: Транспорт, 1992. – 440 с.
6. Prof. Edward Layer, dr. Krzysztof Tomczyk. Measurements, Modelling and Simulation of Dynamic Systems. 2010, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. -165 p.
7. Simon Iwnicki. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. 2006. Taylor & Francis Group - 527 p.
8. Глущенко А.Д., Файзибаев Ш.С. Моделирование импульсного динамического и теплового нагружения материала колесных пар локомотивов. Ташкент: Фан, 2002 .- 194 с.
9. Файзибаев Ш.С., Хромова Г.А. Оптимизация работы колеса и рельса путем снижения контактных напряжений при динамическом взаимодействии колесных пар подвижного состава. Монография. ISBN 978-9943-975-96-5.– Ташкент: «Fan va technology», 2015.-180 с.
10. Djanikulov A.T., Mamayev S.I., & Kasimov O.T. (2021, April). Modeling of rotational oscillations in a diesel locomotive wheel-motor block. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1889, No. 2, p. 022017). IOP Publishing.
11. Kasimov O.T., Djanikulov A.T., & Mamayev S.I. (2021, November). Modeling the bending of the tire surface by pads during braking. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2402, No. 1, p. 070030). AIP Publishing LLC.
12. Мухамедова З.Г., Ибадуллаев А.С., Мамаев Ш.И. Расчет остаточного ресурса и продление срока службы специального самоходного подвижного состава. Universum технические науки. 2022. №2(95), 88-97 с.
13. Fayzibaev Sh.S., Avdeeva A.N., Mamaev S.I. Evaluation of the wear of the tire wheel pair at rolling friction // ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal, ISSN: 2249-7137, Volume- 10, Issue 6, June 2020 Impact Factor: SJIF 2020 = 7.13. С. 1600-1604. <https://saarj.com/wp-content/uploads/ACADEMICIA-JUNE-2020-FULL-JOURNAL.pdf>.
14. Заболотный Н.Г. Тепловозы ТЭ10М. Механическое оборудование: Учебное иллюстрированное пособие. - М.: Маршрут, 2006.-58с.
15. Техническое обслуживание и ремонт тягового электродвигателя ЭД-118А. Технологическая инструкция ПКБ ЦТ.25.0082. Проектно-конструкторское бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ОАО «Российские железные дороги»), 2009.-137 с.

DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13396

**АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ ОА “УЗБЕКИСТОН ТЕМИР ЙУЛЛАРИ”****Файзибаев Шерзод Сабирович**

д-р. техн. наук, проф. кафедры Вагоны и вагонное хозяйство,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [sherzod\\_fayzibaev@mail.ru](mailto:sherzod_fayzibaev@mail.ru)

**Авдеева Анна Николаевна,**

доц. кафедры Материаловедения и машиностроение,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [nyusik22@mail.ru](mailto:nyusik22@mail.ru)

**Мамаев Шерали Иброхимович**

ст. преподаватель кафедры "Материаловедения и машиностроение"  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [mamayevsherali@gmail.com](mailto:mamayevsherali@gmail.com)

**Турсунов Шукурли Эхсонович**

ст. преподаватель кафедры "Материаловедения и машиностроение"  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [tursunovshukurali@mail.com](mailto:tursunovshukurali@mail.com)

**Нигматова Дилноза Исламовна**

ст. преподаватель кафедры "Материаловедения и машиностроение"  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [islamovna.dilnoza@gmail.com](mailto:islamovna.dilnoza@gmail.com)

**ANALYSIS OF OPERATIONAL RELIABILITY OF TRACTION ELECTRIC ENGINES  
OF LOCOMOTIVES OF OA “UZBEKISTAN TEMIR YULLARI”****Sherzod Fayzibaev**

Doctor of Technical Sciences,  
Professor of the Department Wagons and Wagon Economy of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

**Anna Avdeeva**

docent of the Department  
Materials Science and Mechanical Engineering of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

**Mamaev Sherali**

Senior lecturer  
of the Department Materials Science and  
Mechanical Engineering of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

**Dilnoza Nigmatova**

Senior lecturer  
of the Department Materials Science and  
Mechanical Engineering of TSTU,  
Uzbekistan, Tashkent

*Shukurali Tursunov**Senior lecturer  
of the Department Materials Science and  
Mechanical Engineering of TSTU, Uzbekistan, Tashkent*

#### АННОТАЦИЯ

Изложены вопросы прогнозирования остаточного ресурса и продления сроков эксплуатации тяговых электродвигателей тепловозов серии UzTE116M. Рассматриваются основные причины отказов тяговых электродвигателей и статистические данные о причинах неисправностей узлов локомотивов после капитального ремонта, а также причины повреждений тяговых электрических двигателей ЭД-118Б(А) с учетом реальных эксплуатационных режимов.

#### ABSTRACT

The issues of forecasting the residual resource and extending the service life of traction electric motors of UzTE116M series locomotives are outlined. The main causes of failures of traction electric motors and statistical data on the causes of malfunctions of locomotive components after major repairs, as well as the causes of damage to traction electric motors ED-118B(A), taking into account real operating conditions, are considered.

**Ключевые слова:** колесо, мотор, локомотив, нагрузка, отказ, главных полюс, масса, жесткость, подшипник.  
**Keywords:** wheel, motor, locomotive, load, failure, main pole, mass, stiffness, bearing.

**Введение.** Большинство отказов тяговых электрических двигателей (ТЭД) локомотивов связано с возникновением недопустимых статических или периодически меняющихся динамических нагрузок, приводящих к усталостному разрушению элементов ТЭД. При этом наиболее характерными отказами ТЭД являются: разрушение межкатушечных соединений, выход из строя главных полюсов, механические повреждения изоляции обмоток, излом соединительных болтов, повреждения моторно-осевого подшипника, пальцев щеткодержателей или поворотной траверсы [1-4].

Следует отметить, что большинство элементов ТЭД имеет низкий уровень диагностируемости, которая приблизительно может быть оценена по отношению числа плановых ремонтов к общему числу отказов данного вида элемента. А для существенного снижения расходов и ликвидации внепланового ремонта необходим индивидуальный подход к каждому тяговому электродвигателю, который можно организовать в планово-предупредительной системе диагностического контроля состояния парка локомотивов [5-6].

**Целью исследования** является установление причин неисправностей тяговых электродвигателей локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари».

**Метод.** По данным статистики Ташкентского тепловозоремонтного завода и компании, "YO'LREFTRANS" АО, на территории Узбекистана, основными причинами преждевременного выхода из строя колёсно-моторного блока тепловозов являются: неудовлетворительный уход за локомотивами со стороны локомотивных бригад, недостаточный уровень практической подготовленности их к оперативному выявлению и устранению неисправностей и нарушение режимов управления локомотивами, заводской брак оборудования, низкое качество капитального ремонта, однако наибольший процент причин приходится на несовершенные методы диагностирования.

По данным Управления эксплуатации локомотивов АО «Узбекистон темир йуллари» наибольшее число отказов по локомотивным депо приходится на тяговый электрический двигатель тепловозов. На рис. 1 показано количество отказов тяговых электродвигателей в различных депо ОА «Узбекистон темир йуллари», а в таблице 1 указаны причины неисправностей локомотивов по годам.

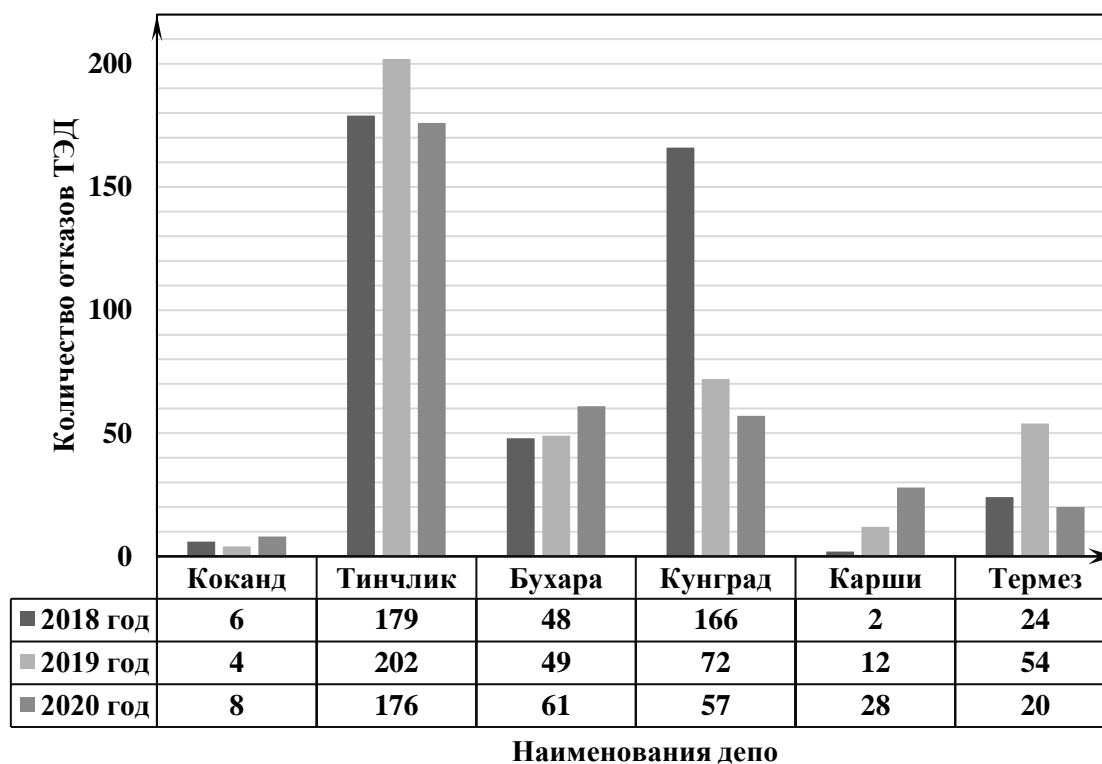


Рисунок 1. Распределение неисправностей тяговых электродвигателей тепловозов по годам и локомотивным депо ОА “Узбекистон темир йуллари”

Таблица 1

Причины обнаруженных неисправностей узлов локомотивов

№	Название причин	2018 год	2019 год	2020 год
1.	Мотор компрессор	3	1	-
2.	<b>ТЭД НБ-412, 514, 418, ЭД118</b>	<b>21</b>	<b>15</b>	<b>8</b>
3.	Неисправности дизеля.	7	12	7
4.	Мотор вентилятор АЭ-92, АП-82	3	3	4
5.	Воздушные компрессоры КТ-6, КТ-7	3	8	2
6.	Фазорасщепитель	3	2	3
7.	Вкладыш МОП	1	2	-
8.	Трещины рамы тележки ВЛ60к	-	2	-
9.	Неисправности электрической схемы	2	9	-
10.	Главный генератор ГП-311, ГП-300	2	-	1
11.	Стояночный и вспомогательный тормоз электровоза	2	-	1
12.	Трансформатор ОДЦЭ	-	-	1
13.	Шестерня ТЭД	3	1	-
	<b>Всего:</b>	<b>50</b>	<b>55</b>	<b>27</b>

На рис.2 приведены диаграммы неисправностей ТЭД тепловозов UzTE16M.



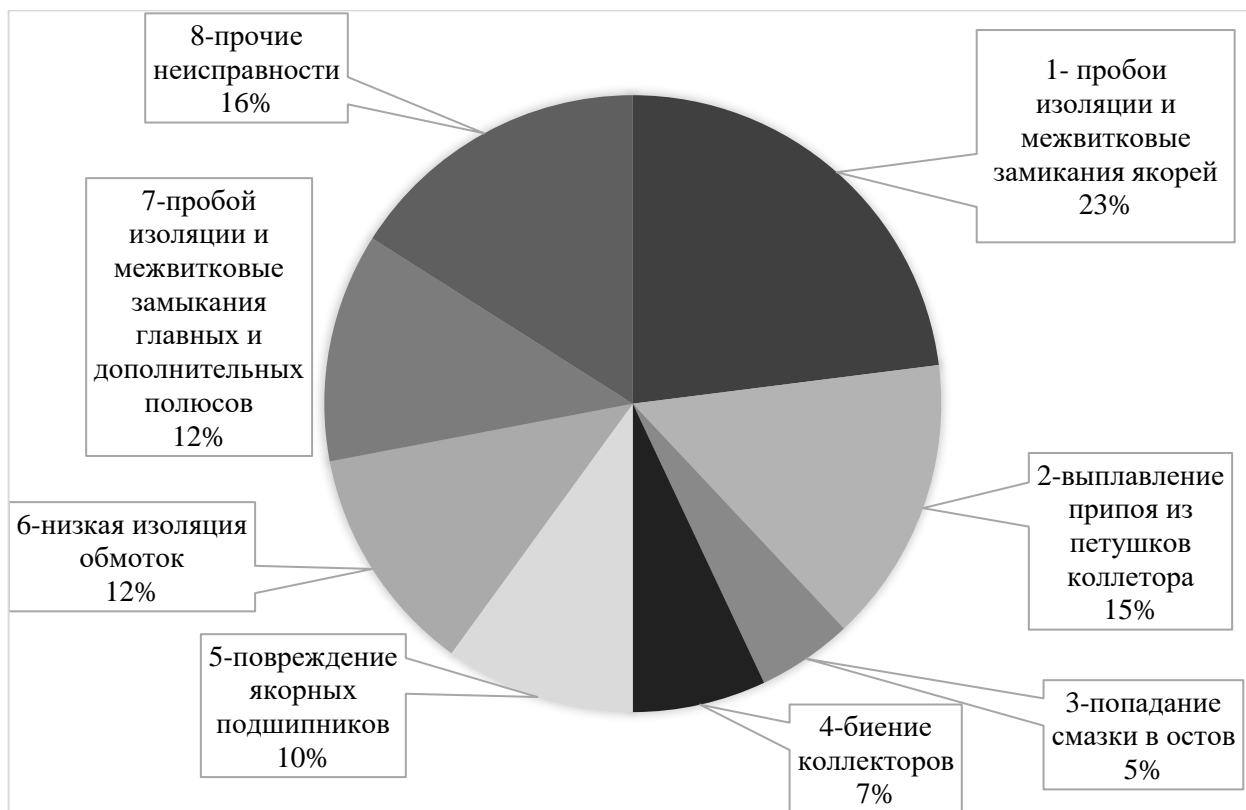


Рисунок 2. Диаграмма видов неисправностей тяговых электродвигателей тепловозов ОА “Узбекистон темир йуллари”

Распределение видов неисправностей тяговых электродвигателей тепловозов ОА “Узбекистон темир йуллари” по элементам конструкции и видам отказов показаны на рисунке 2.

Так, в 2019 году среднее число заходов на неплановый ремонт из-за отказов ТЭД составило 3.82, а в 2020 году – 3.53 случая на 1 млн.км пробега.

Распределение по видам отказов ТЭД, учтенных на плановых и неплановых ремонтах, представлено на рисунке 3.

Цифрами обозначены: 1-пробой и межвитковое замыкание якоря; 2-подгар и оплавление коллекторных пластин, 3- пробой и межвитковое замыкание обмоток главных пластин, 4- повреждение компенсационной обмотки, 5- повреждение межкатушечных соединений, 6- повреждение выводов полюсов и перемычек на поворотной траверсе, 7- повреждение выводных кабелей, 8-разрушение бандажа якоря, 9- повреждение якорных подшипников, 10- выплавление из «петушков» коллектора, 11- повреждения якорных подшипников, 12- внеплановая обточка коллектора [7].

### Распределение по видам отказов ТЭД

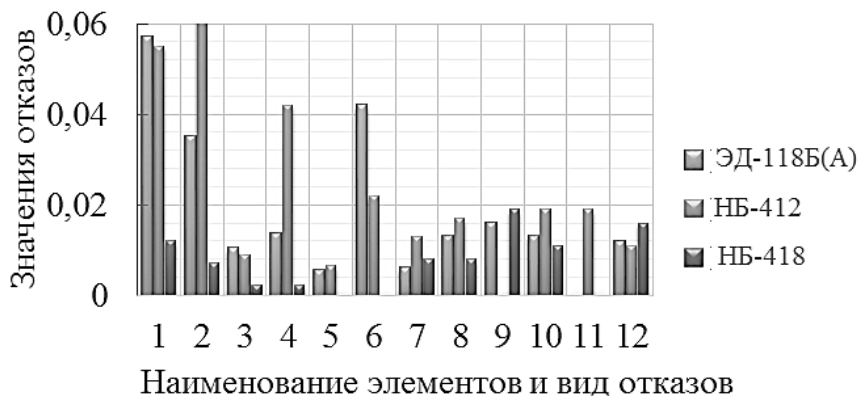


Рисунок 3. Распределение по видам отказов ТЭД, учтенных на плановых и внеплановых ремонтах

Первопричиной того, что остается высокая повреждаемость ТЭД, являются механические воздействия. Они создают дополнительные процессы в виде нестабильности щеточного контакта, непостоянства воздушного зазора между якорем и сердечником полюса, изменения распределения напряжения по окружности коллектора, особых условий дугообразования на коллекторе и ряда других особенностей. Так было выявлено, что при воздействии на тяговый электрический двигатель внешних вибраций с эффективной величиной 10g в районе моторно-осевых подшипников интенсивность искрения коллектора тягового двигателя ЭД-118Б(А) соответствует классу 1 1/2. При работе этих двигателей в тех же режимах, но при отсутствии вибрации, двигатели имели темную коммутацию.

Повышенная интенсивность искрения щеток при воздействии вибрации существенно увеличивает износ щеток, коллектора, значительно повышает их

температуру. Увеличение износа щеток по мере роста энергии вибрационного воздействия объясняется следующим образом: электрощетки, вертикальная продольная ось которых совпадает с направлением действия динамической силы, вызванной воздействием внешних вибраций, получают соответствующее ускорение и при определенном соотношении сил нажатия и сил инерции могут прервать контакт с коллектором, что приведет к возникновению вспышки искрения. Под действием дуги часть коллекторных пластин получают микроплавления (подгары), в результате чего шероховатость рабочей поверхности коллекторных пластин увеличится, а, следовательно, увеличится и интенсивность абразивного воздействия на щетки.

Распределение отказов тяговых электрических двигателей ЭД-118Б(А) по годам приведено в таблице 2.

Таблица 2.

Повреждение тяговых электрических двигателей ЭД-118Б(А)

Повреждение тяговых двигателей ЭД-118Б(А)	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Отказы тяговых двигателей в % от числа эксплуатируемых	8,6	9,7	10,8	10,1	11,5	10,0
В том числе из-за повреждений:						
- якорных подшипников	1,7	2,1	2,1	2,2	1,4	2,6
- межкатушечных соединений, перемычек, кабелей	1,2	1,9	2,3	2,4	1,5	2,2
- полюсных катушек (пробой, низкая изоляция)	1,8	1,4	1,6	1,3	1,25	1,4
- якорей (межвитковое замыкание, пробой)	0,75	1,1	1,2	1,1	1,2	1,3
- компенсационных обмоток	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6

Вал тягового двигателя подвержен действию значительных вращающих моментов, которые вызывают большие касательные силы в местах их приложения, а также действию сил магнитного притяжения и сил реакции зубчатой передачи; вал воспринимает, кроме того, вес деталей якоря.

Часто меняющаяся нагрузка с мгновенными толчками в период пуска и торможения, ударная нагрузка при выходе движущей колесной пары из состояния буксования, динамические воздействия от неровностей пути, значительные перегрузки в период выхода из строя одного из тяговых двигателей создают особенно тяжелые условия для работы вала якоря.

Неравномерность токораспределения усиливается из-за большого коэффициента динамики во всем диапазоне рабочих частот кинематической системы щеткодержателей при воздействии на них внешних вибраций, природа которых зависит от характеристики подвижного способа подвешивания тягового

двигателя на локомотиве, что подтверждается параметрами амплитудно-частотных характеристик кинематических систем щеткодержателей тяговых электрических двигателей ЭД-118Б(А). У двигателя ЭД-118Б(А) в диапазоне частот от 10 до 100 Гц коэффициент динамики не превышает 4, а максимум равен 14 на частоте 165 Гц.

Из-за действия вибрационных нагрузок в эксплуатации остается еще высокой повреждаемость щеточно-коллекторного узла ТЭД по причине кругового огня и подгаров, подплавления коллекторных пластин, повреждений щеткодержателей и кронштейнов.

Вывод по работе: необходимо провести исследования по определению амплитудно-частотной характеристики и коэффициента динамики вибрирующих элементов ТЭД, которые являются причинами неисправностей коллекторов, щеточного узла и кронштейнов ТЭД.

**Список литературы:**

1. Глущенко А.Д., Юшко В.И. Динамика тяговых электродвигателей электровозов. Ташкент: Изд-во «Фан» , 1980. -168 с.
2. Динамика локомотивов /М.А. Ибрагимов, В.И. Киселев , В.А. Рамлов, А.В. Скалин: Уч. пос.-М.: РГОТУПС, 2005.- 128 с.
3. Djanikulov A.T., Mamayev S.I., & Kasimov O.T. (2021, April). Modeling of rotational oscillations in a diesel locomotive wheel-motor block. In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1889, No. 2, p. 022017). IOP Publishing.
4. Simon Iwnicki. Handbook of Railway Vehicle Dynamics. 2006. Taylor & Francis Group.- 527 p.
5. Курбасов А.С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей. М.: Транспорт, 1977.- 354 с.
6. Kasimov O.T., Djanikulov A.T., & Mamayev S.I. (2021, November). Modeling the bending of the tire surface by pads during braking. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2402, No. 1, p. 070030). AIP Publishing LLC.
7. Курочка А.Л., Зусмановская Л.Л. Увеличение срока службы электродвигателей. М.: Транспорт, 1970. – 423 с.

**РАСЧЕТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ В МАТЕРИАЛЕ БАНДАЖА  
ПРИ ТОРМОЖЕНИИ ТЕПЛОВОЗА UZTE16M****Файзибаев Шерзод Собирович**

*д-р техн. наук, проф.,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [meravaz@gmail.com](mailto:meravaz@gmail.com)*

**Касимов Обиджон Тоирджонович**

*ст. преподаватель,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [kasimov7072726@mail.ru](mailto:kasimov7072726@mail.ru)*

**CALCULATION OF THE TEMPERATURE FIELDS IN THE BANDAGE MATERIAL DURING  
BRAKING OF A DIESEL LOCOMOTIVE UZTE16M****Sherzod Fayzibaev**

*doctor of technical sciences, professor,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Obidjon Kasimov**

*Senior lecturer,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**АННОТАЦИЯ**

В данной работе рассмотрены расчетные методики оценки износа тормозной системы подвижного состава и изучены температурные поля, а также напряжение в материале бандажей колесных пар при эксплуатации. В ходе методики исследовались оценки температурных полей в материале бандажа при торможении тепловоза UzTE16M.

**ABSTRACT**

In this paper, computational methods for assessing the wear of the rolling stock braking system are considered and temperature fields, as well as stresses in the material of wheelset bandages during operation, are studied. In the course of the methodology, estimates of temperature fields in the bandage material during braking of the UzTE16M diesel locomotive were investigated.

**Ключевые слова:** локомотив, колесная пара, бандаж, рельс, тормозная колодка.

**Keywords:** locomotive, wheelset, bandage, rail, brake pad, braking.

На сегодняшний день уделяется огромное внимание обеспечению высокого уровня безопасности движения поездов [3; 4; 8; 13; 6]. Последствиями транспортных происшествий являются порча грузов и техники, разрушение путей и контактной сети, прекращение движения поездов по участку, что приводит к большим экономическим и человеческим потерям [7; 5; 9; 11].

Надежная работа подвижного состава и устройств железнодорожного транспорта является основой для обеспечения пропускной и провозной способности железных дорог, а также безопасности движения поездов. Это является основной задачей всех служб и подразделений АО «УТЙ». Показатели работы напрямую зависят от числа крушений,

событий, отказов технических средств. Особая роль в обеспечении безопасности движения заключается в надежности тормозного оборудования подвижного состава.

Тормоза железнодорожного подвижного состава предназначены для регулирования скорости движения от максимально возможной до полной остановки, а также удержания состава на месте.

Проблема повышения долговечности колесных пар локомотивов исследуется специалистами железных дорог всего мира. Однако до настоящего времени мало обоснованы расчетные методики оценки их износа, недостаточно изучены температурные поля и напряжения в материале бандажей колесных пар при эксплуатации.

Исследования для оценки температурных полей в материале бандажа при торможении локомотивов в рассмотренной задаче осуществим с использованием следующих допущений.

1. Выбираем модель бандажа колесной пары локомотива, на которую воздействуют 2 тормозные колески с передачей нагрузок  $P_T$  при скорости скольжения  $V_T$  и силе трения  $F_T$  при реализации мощности торможения колеса [3; 14; 15]:

$$N_T = 2K\varphi_K V_T \times 2,345 \left[ \frac{\text{ккал}}{\text{с}} \right]. \quad (1)$$

2. Вся реализуемая мощность при торможении одного колеса поглощается материалом бандажа весом  $G_K$ . Материал бандажа характеризуется коэффициентами теплопроводности  $K_B$ , теплоемкостью  $C_B$ , которые осреднены для диапазонов температур нагревания.

3. В каждом цикле времени  $t$  торможения мощность  $N_T$  поглощается частью масс бандажа  $\alpha_B G_B$ , где  $\alpha_B$  – коэффициент, зависящий от приращения температуры нагревания  $T_B$  бандажа.

При этом выполняется уравнение теплового баланса для средних  $\alpha_B$  и  $T_B$ :

$$\alpha_B G_B C_B T_B = N_T t = (N_{TK} + N_{TB}) t. \quad (2)$$

При известных  $N_{TB}$  можно определить:

$$T_B = \frac{N_{TB} t}{2\alpha_B G_B C_B}. \quad (3)$$

Из последних формул видно, что при постоянной  $N_T = \text{const}$  наибольшее влияние на температуры нагревания играют отношения  $t/\alpha_B$ . При  $\alpha_B$  в течение времени  $t = 0 \div t_T$ .

Выполним расчет для условий торможения колесной пары тепловоза типа УзТЕ16М при  $C_{TB} = 253 \text{ кг}$ ;  $C_{TK} = 180 \text{ кг}$ ;  $N_T = 39,55 \text{ ккал/с}$ , соответствующих начальной скорости торможения  $V_n = 100 \text{ км/ч}$ , конечной скорости  $V_k = 36 \text{ км/ч}$ , длительности цикла торможения  $t_T = 40 \text{ с}$ .

При условии  $N_{TB} = 0,5 \cdot N_T = 19,78 \text{ ккал/с}$ ,  $\alpha_B = 1,0$  получили:

$$T_B = \frac{19,78 \cdot 40}{2 \cdot 1 \cdot 253 \cdot 0,1173} = 13,33^\circ \text{C}.$$

В первой фазе торможения поглощение тепловой мощности осуществляется при малых  $\alpha_B$  (около 0,1) и  $t = t_1 = 10 \text{ с}$ , получили:

$$T_{B1} = \frac{19,78 \cdot 10}{2 \cdot 0,1 \cdot 253 \cdot 0,1173} = 33,25^\circ \text{C}.$$

Уточнение температурных полей с учетом уравнения теплопроводности провели с учетом основного потока отводимого тепла  $N_T t$  в направлении по радиусу  $R_K$  бандажа.

Площадь теплопередачи принимаем равной для:

- бандажа  $S_B = 2\pi R_K \vartheta_B$  ( $\vartheta_B$  – ширина бандажа, измеренная вдоль оси колесной пары).

С учетом введенных допущений получим уравнения теплопроводности для:

- бандажа колесной пары:

$$\frac{\partial T_B}{\partial t} - \frac{K_B}{C_B \gamma_B} \cdot \frac{\partial^2 T_B}{\partial Z^2} = \frac{N_{TB}}{2\pi R_K Z_B \vartheta_B G_B \gamma_B} \cos \frac{\pi Z}{2Z_B}, \quad (4)$$

где  $Z_B$  – толщина бандажа, измеренная по координате  $Z$ ;

$\gamma_B$  – плотность материала бандажей;

$K_B$  – коэффициенты теплопроводности в материале моделей бандажа в направлении по координате  $Z$ .

Частное решение уравнения (4) получили в виде [10]:

$$T_B(t, Z) = T_B(t) \cos \frac{\pi \cdot Z}{2Z_B} \quad (5)$$

с функцией времени  $T_B(t)$ , удовлетворяющей уравнению:

$$\frac{\alpha T_B}{\alpha t} + \psi_B T_B = \frac{N_{TB}}{2\pi R_K \vartheta_B Z_B C_B \gamma_B}, \quad (6)$$

где

$$\psi_B = \frac{\pi^2 \cdot K_B}{4C_B \gamma_B Z_B^2}. \quad (7)$$

Решения уравнений (6) при начальных условиях для  $t = 0$   $T_B(0) = T_B$ , выполненные методом операционного исчисления, получим в виде:

$$T_B(t) = T_B \ell^{\psi_B t} + \frac{2N_{TB} Z_B}{\pi^3 R_K \vartheta_B K_B} (1 - \ell^{\psi_B t}). \quad (8)$$

Производим расчет температуры нагревания  $T_B$  бандажа по формулам (8) при использовании исходных данных:

$$T_B = \frac{2N_{TB} Z_B}{\pi^3 R_K \vartheta_B K_B} = \frac{2 \cdot 19,78 \cdot 0,075}{30,96 \cdot 0,525 \cdot 0,14 \cdot 90^{-1}} = 117,35^\circ \text{C}$$

$$\psi_B = \frac{\pi^2 \cdot 90^{-1}}{4 \cdot 0,1173 \cdot 7860 \cdot 0,075^2} = \frac{1}{187,4} = 0,0053.$$

При  $t_1 = 10 \text{ с}$ ;

$$T_B = 117,35 \cdot (1 - 0,83^{0,0053 \cdot 10}) = 1,15^\circ \text{C}.$$

При  $t_2 = 20 \text{ с}$ ;

$$T_B = 117,35 \cdot (1 - 0,83^{0,0053 \cdot 20}) = 2,295^\circ C.$$

При  $t_3 = 30c$  ;

$$T_B = 117,35 \cdot (1 - 0,83^{0,0053 \cdot 30}) = 3,426^\circ C.$$

При  $t_4 = 40c$  ;

$$T_B = 117,35 \cdot (1 - 0,83^{0,0053 \cdot 40}) = 4,545^\circ C.$$

Если начальная температура  $T_B = 30^\circ C$  , то фактическая температура бандажа будет равна:

$$T_B(10^0) = 30 \cdot 0,83^{0,0053 \cdot 10} + 1,15 = 30,86^\circ C.$$

По формулам (8) определим полную температуру нагревания бандажей по  $t = 40c$  и  $T_B = 30^\circ C$  :

$$T_B(40^0) = 30 \cdot 0,83^{0,0053 \cdot 40} + 4,545 = 33,383^\circ C.$$

После окончания торможения через  $t_o = 120c$  секция температура определяется по формулам:

$$T_B(120) = 33,383 \cdot 0,83^{-0,0053 \cdot 100} = 36,848^\circ C.$$

Оценка охлаждения бандажа через 120 секунд. Бандаж через 120 секунд имеет температуру бандажа  $\sim T_B \approx 30^\circ C$  , не может быть менее  $30^\circ C$  . Должен быть задан цикл торможений и отпуска.

Выполним расчет по оценке влияния  $\alpha_B$  при  $t = 10, 20, \dots, 120c$  по формуле (3).

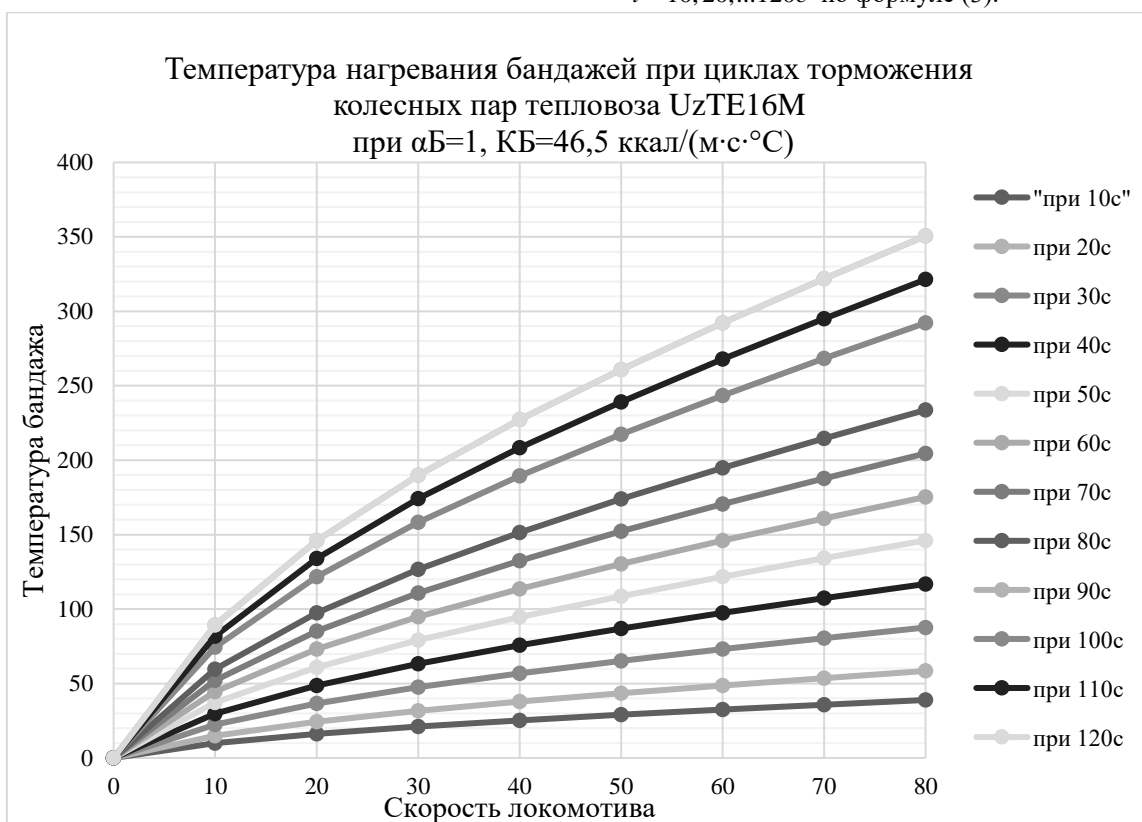
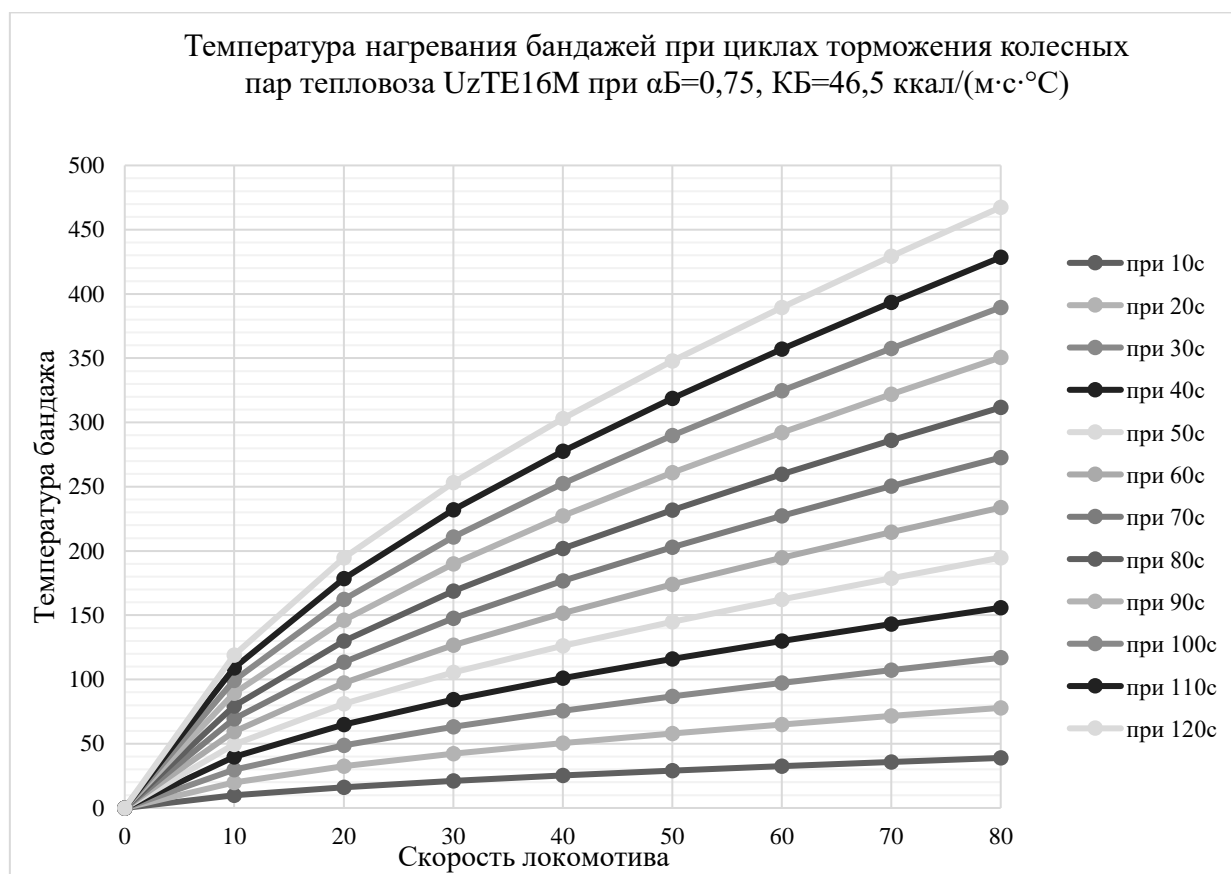


Рисунок 1. Температура нагревания бандажей при циклах торможения колесных пар тепловоза



**Рисунок 2. Температура нагрева бандажей при циклах торможения колесных пар тепловоза**

**Выводы.** По итогам проведенных исследований выявлены параметры нагрева бандажей при циклах торможения колесных пар двух типов тепловоза.

Как показано на графиках, при скорости в 80 км/ч температура бандажа достигает более 450 °С.

#### Список литературы:

1. Бабаков И.М. Теория колебания. – М. : Наука, 1965. – 559 с.
2. Бронштейн И.Н. Справочник по математике. – М. : Наука, 1986. – 671 с.
3. Глушенко А.Д., Файзибаев Ш.С. Моделирование импульсного динамического и теплового нагружения материала колесных пар локомотивов. – Ташкент : Фан, 2002. – 194 с.
4. Конструкция и динамика тепловозов / под ред. проф., д-ра техн. наук В.И. Иванова. – М. : Транспорт, 1974. – С. 336.
5. Махаммов Н.Я., Илесалиев Д.И., Мерганов А.М. Сравнительный анализ факторов, влияющих на доставку пакетных грузов // Инновационный транспорт. – 2019. – № 3. – С. 50–57.
6. Медель В.Б. Подвижный состав электрических железных дорог. – М. : Транспорт, 1974. – С. 232.
7. Мерганов А.М. Подход к экономическому обоснованию затрат на энергетические потери, связанные с состоянием железнодорожных путей // Вестник ИНЖЭКОНа. Серия: Экономика. – 2012. – № 5. – С. 317–319.
8. Механическая часть тягового подвижного состава / под ред. д-ра техн. наук И.В. Бирюкова. – М. : Транспорт, 1992. – С. 440.
9. Файзибаев Ш.С. Исследование влияния пластических деформаций на поверхности упрочняемого бандажа // Universum: технические науки. – 2022. – № 1-1 (94). – С. 106–110.
10. Файзибаев Ш.С., Косимов О.Т. Моделирование сдвига поверхностного слоя бандажа колесной пары локомотива в зонах контакта с чугунными тормозными колодками // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2020. 10(79). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/10815> (дата обращения: 04.04.2022).
11. Файзибаев Ш.С., Хисматулин М.И. Динамические явления в тяговой зубчатой передаче тепловозов и использование их для диагноза технического состояния зубчатой передачи // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 4. – С. 69–72.

12. Филонов С.П., Зиборов А.Е., Ренкуна В.В. Тепловозы 2ТЭ10М, 3ТЭ10М. Устройство и работа. – М. : Транспорт, 1986. – 288 с.
13. Djanikulov A., Kasimov O. Simulation Of Transients In The Power Circuit Of The TE-10 Diesel Locomotives When The Diesel Generator Set Protection Is Triggered // International Journal of Advanced Technology. – 2020. – Vol. 29, № 7.
14. Djanikulov A.T., Mamayev S.I., Kasimov O.T. Modeling of rotational oscillations in a diesel locomotive wheel-motor block // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1889, № 2. – P. 022017.
15. Kasimov O.T., Djanikulov A.T., Mamayev S.I. Modeling the bending of the tire surface by pads during braking // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2402, № 1. – P. 070030.



DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13383

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ (ДГУ)  
ТЕПЛОВЗОВ С ПОМОЩЬЮ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА «БОРТ»****Хамидов Отабек Рустамович***д-р техн. наук, доцент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Юсуфов Абдулазиз Махамадали угли***докторант,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [abdulazizyusufovv@bk.ru](mailto:abdulazizyusufovv@bk.ru)***Кодиров Нозимжон Солиевич***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [nazimzhank@bk.ru](mailto:nazimzhank@bk.ru)***Жамилов Шухрат Фармон угли***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Эркинов Бурхон Хайдарали угли***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Абдулатипов Улугбек Исламжон угли***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Сейдаметов Саидахмад Рахматуллаевич***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***EVALUATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE DIESEL GENERATOR PLANT  
(DGP) OF DIESEL LOCOMOTIVES USING THE BORT HARDWARE  
AND SOFTWARE COMPLEX****Otabek Khamidov***Doctor of Technical Sciences, docent  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent***Abdulaziz Yusufov***doctoral student,  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent*

**Nozimzhan Kodirov**

Assistant,  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent

**Shuxrat Jamilov**

Assistant,  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent

**Burxon Erkinov**

Assistant,  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent

**Ulugbek Abdulatipov**

Assistant,  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent

**Saidakhmad Seydametov**

Assistant,  
Tashkent State Transport University,  
Uzbekistan, Tashkent

#### АННОТАЦИЯ

Статья посвящена актуальным вопросам контроля и диагностики дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов с применением аппаратно-программного комплекса «борт». В статье представлено описание об устройствах и структуре организации контроля технического состояния дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов, а также обоснована целесообразность упреждающей диагностики, которая позволяет заблаговременно выявить дефекты на самой ранней стадии их развития. Приведены основные функции аппаратно-программного комплекса «Борт». Также представлено описание происходящих в процессе работы дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов, при эксплуатации. Проведен анализ режимов непрерывного контроля технического состояния дизель-генераторной установки (ДГУ).

#### ABSTRACT

The article is devoted to topical issues of control and diagnostics of a diesel generator plant (DGP) of diesel locomotives using the "board" hardware and software complex. The article presents a description of the devices and structure of the organization of monitoring the technical condition of a diesel generator set (DGU) of diesel locomotives, as well as the expediency of proactive diagnostics, which allows early detection of defects at the earliest stage of their development. The main functions of the hardware-software complex "Bort" are given. A description of the diesel locomotives that occur during the operation of a diesel generator plant (DGP) during operation is also presented. The analysis of modes of continuous monitoring of the technical condition of a diesel generator plant (DGP) was carried out.

**Ключевые слова:** диагностика, дизель-генераторная установка (ДГУ), современные методы, нейросетевой модуль, локомотив.

**Keywords:** diagnostics, diesel generator plant (DGP), modern methods, neural network module, locomotive.

**Введение.** Повышение эффективности и надежности локомотивов требует регулярного контроля их оборудования в процессе эксплуатации. С внедрением современных микропроцессорных систем бортовой автоматизации и контроля не только реализация аварийной сигнализации при критической работе оборудования, но и эффективные методы обработки полученных данных измерений, обеспечивающие достоверное прогнозирование изменения технического состояния ключевых узлов оборудования вопрос разработки все еще актуален.

Современный локомотив представляет собой технически сложную, возобновляемую систему, поэтому его успешная работа зависит от выполнения определенного комплекса профилактических и восстановительных мероприятий, направленных на поддержание и восстановление рабочего состояния, рабочего состояния и выявленного ресурса.

Одним из важнейших принципов при планировании объемов ремонта локомотивной техники является учет ее реального технического состояния, снижение эксплуатационных расходов железных дорог и снижение транспортных расходов. Непрерывный контроль технического состояния локомотива в эксплуатации осуществляется с помощью

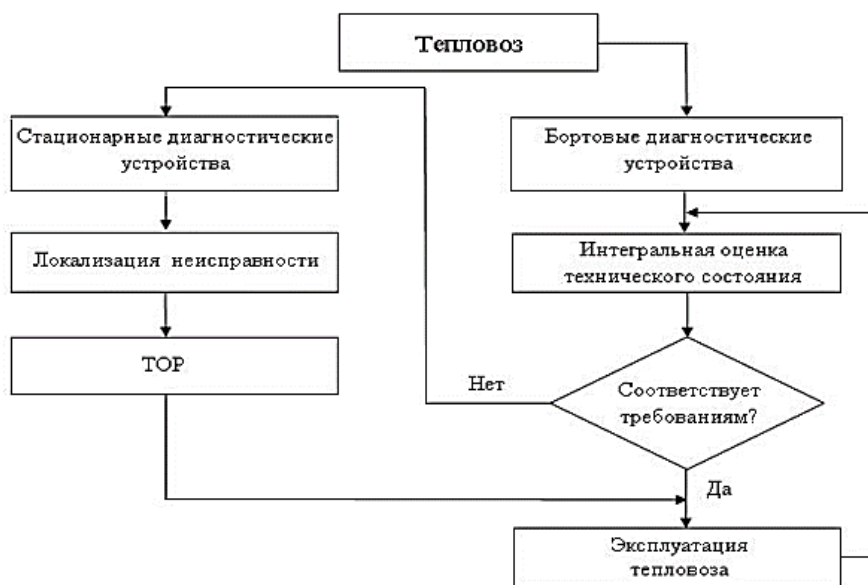
стационарных и бортовых средств технической диагностики.

Еще одним из основных направлений является повышение эксплуатационной надежности, ресурсных и технико-экономических показателей локомотивов, повышение эффективности локомотивного хозяйства и снижение эксплуатационных расходов железных дорог. Эта проблема не может быть решена без внедрения современных систем технического обслуживания локомотивов, основанных на учете их фактического технического состояния при планировании объемов ремонта локомотивов. Средства технического диагностирования являются надежным источником информации о техническом состоянии действующих систем локомотива.

Повышение эксплуатационной надежности, ресурса и технико-экономических показателей тепловозов является одним из основных направлений повышения эффективности локомотивного хозяйства и снижения эксплуатационных расходов железных дорог [10]. Решение этой проблемы невозможно без внедрения современных систем технического обслуживания локомотивов, основанных на учете их фактического технического состояния при планировании объема ремонта. Источником информации о техническом состоянии систем локомотивов в эксплуатации являются средства технической диагностики. Последние годы уделяется значительное вни-

мание внедрению диагностических средств и оборудования во время эксплуатации. На сегодняшний день основные усилия направлены на разработку и внедрения таких высокотехнологических устройств в предприятия и объекты железных дорог стран СНГ.

К сожалению, ранний опыт эксплуатации таких технологий показывает, что ожидаемого существенного сокращения расходов на техническое обслуживание и ремонт локомотивов удается добиться далеко не всегда вследствие значительных затрат времени на подготовку и проведение диагностирования, которые во многих случаях сопоставимы с временем, необходимым для замены соответствующих узлов. При этих условиях выполнение регулярного периодического диагностирования локомотива, необходимого для достоверной оценки его текущего технического состояния, как правило, невозможно. Эффективность использования средств стационарной диагностики может быть существенно повышена в случае использования их совместно со средствами бортовой диагностики, осуществляющих непрерывный контроль значений основных параметров оборудования локомотива непосредственно во время его эксплуатации. В этом случае процесс технического обслуживания локомотива может осуществляться по следующей схеме (рис. 1).



**Рисунок 1. Схема гибридного использования стационарной диагностики со средствами бортовой диагностики**

Общая (интегральная) оценка технического состояния оборудования локомотива осуществляется средствами бортовой диагностики. В случае выявления отклонений в процессе ближайшего планового ремонта или технического обслуживания выполняется детальное диагностирование соответствующего оборудования. Основным препятствием на пути внедрения подобной системы технического обслуживания является чрезвычайно низкий уровень контроле-

пригодности серийных локомотивов, практически исключающий возможность внедрения средств бортовой диагностики без существенной доработки конструкции силовых установок локомотивов.

Главными задачами диагностики подвижного состава являются определение текущего состояния и прогнозирование изменения технического состояния локомотивов в зависимости от наработки [1-6]. Для решения этих задач могут быть использованы

модели, различные по методам построения и применения, использующие искусственных сетей (ИС) для оценки технического состояния современного подвижного состава. Новшеством в локомотивном хозяйстве является аппаратно-программный комплекс «Борт» предназначенный для контроля теплотехнического состояния дизель-генераторных установок тепловозов и расхода топлива.

Аппаратно-программный комплекс «Борт» имеет такие основные компоненты как:

- Основной модуль индикации
- Дополнительный модуль индикации
- Сетевой маршрутизатор
- Модуль безопасного вычислителя

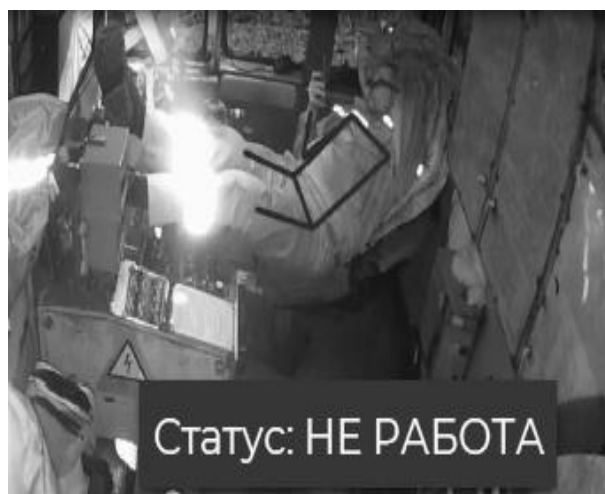


**Рисунок 2. Основные компоненты аппаратно-программного комплекса «Борт»**

Выше приведенные компоненты совместно с бортовым нейромодулем обеспечивают локомотив автоведением, выденаблюдением, автоматической системой бдительности машиниста и радиоборудованиями. В свою очередь бортовой нейромодуль имеет такие ключевые функции как:

- Контроль бдительности машиниста

- Распознавание действий машиниста на основе анализа минималистичного скелета человека
- Маркировка рабочей смены машиниста для отображения на рабочих местах заказчика
- Простая интеграция с существующей системой видеорегистрации на локомотиве
- Возможность реализации иных задач видео аналитики под технологические требования заказчика [7].



**Рисунок 3. Пример алгоритма работы нейросети в задаче : «Контроль бдительности машиниста»**

На мониторе интерфейса аппаратно-программного комплекса «Борт» совмещены данные о локомотиве. С помощью данных на мониторе можно узнать вовремя о приеме сигналов АЛСН, определения скорости и местоположения тепловоза, о надобности применение экстренного торможения,

о регистрации данных внутри кабины и по ходу движения, а также наложение данных о скорости, координатах. Кроме того, можно ввести энергооптимальное ведение поезда в автоматическом режиме и режима советчика, моделированного с помощью искусственного интеллекта [8].



Рисунок 4. Совмещенные данных систем намониторе аппаратно-программного комплекса «Борт»

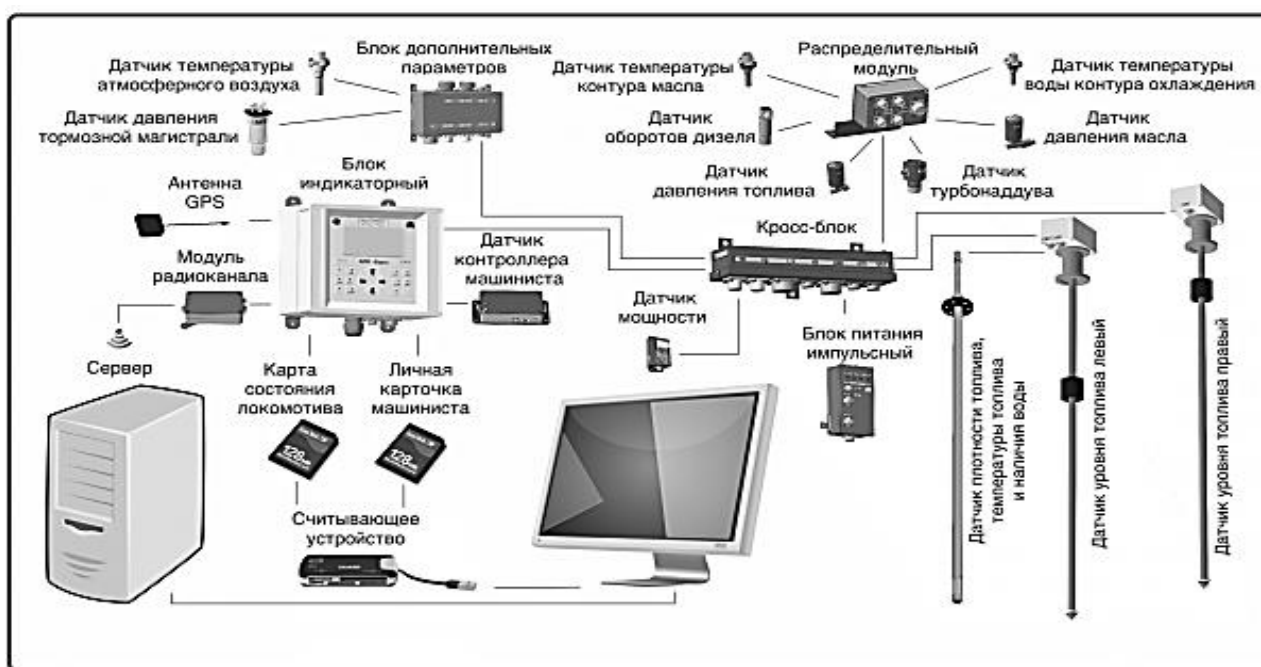


Рисунок 5. Алгоритм оценки технического состояния дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов с применением аппаратно-программного комплекса «Борт»

Как видно бортовой аппаратно-программный комплекс «Борт» (АПК «Борт») регистрирует и анализирует параметров работы и учета дизельного топлива при эксплуатации тепловозов, кроме того ведет непрерывный контроль технического состояния и режимов эксплуатации дизель-генераторной установки тепловозов. Топливо является основным источником автономных локомотивов и для этого автоматический учет топлива является важным аспектом во время эксплуатации. С помощью аппаратно-программный комплекс «Борт» (АПК «Борт») производится автоматический контроль прихода и расхода топлива при эксплуатации тепловоза и определение не санкционированных его сливов и передачи зарегистрированных данных с использованием беспроводного канала (online-режим) и резервного проводного канала.

Кроме того, комплекс обеспечивает:

- определение объема топлива в баке по левому и правому борту, л;

- расчет среднего значения объема топлива, л;
- расчет массы топлива в баке, кг;
- измерение температуры топлива, °С ;
- определение плотности топлива в баке, кг/м<sup>3</sup>;
- определение наличия подтоварной воды в топливном баке;
  - запись параметров в масштабе времени в энергонезависимое устройство памяти (карта состояния локомотива и личная карта машиниста).
- определение скорости движения тепловоза, км/час;
- определение координат на местности;
- передач по радиоканалу GPRS накопленных данных на FTP-сервер;
- создание статистической базы для формирования системы объективной информации о расходе топлива на тягу поездов;
  - самодиагностику статуса датчиков и модулей системы [9].

### Заключение

Таким образом, показано, что контроль и диагностики дизель-генераторной установки (ДГУ) тепловозов является одним из ключевых аспектов. Своевременная диагностика дизель-генераторной установки (ДГУ) обеспечивает безопасность движения и снижает расход топлива. Для точности применение высокотехнологических и наукоёмких технологий является мощным и доступным инструментом, которые способны давать достоверные результаты при

технической диагностике дизель-генераторной установки (ДГУ). С применением аппаратно-программного комплекса «Борт» можно повысить эффективность и надежность локомотивов. С помощью бортового аппаратно-программного комплекса «Борт» (АПК «Борт») можно регистрировать и сделать анализ параметров работы и учета дизельного топлива во время эксплуатации тепловозов, кроме того можно вести непрерывный контроль технического состояния и режимов эксплуатации дизель-генераторной установки тепловозов.

### Список литературы:

1. Бортовая система диагностики локомотива ТЭП70БС / Федотов М.В., Набатчиков Ю.Н. // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.92-96.
2. Система МСУ-Т магистрального пассажирского локомотива ТЭП70БС / Сергеев. С.В., Камышников С.А. // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.64-76.
3. Грачев В.В. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления / В.В. Грачев, М.Ш. Валиев // Известия ПГУПС / Петербургский государственный университет путей сообщения. – Санкт-Петербург. – 2010. – №1(22). – С. 22 – 32.
4. Валиев М.Ш. Диагностика рабочего процесса тепловозного дизеля в условиях эксплуатации / М.Ш. Валиев // Вестник Транспорта Поволжья / Самарский государственный университет путей сообщения. – Самара. – 2011. – №1(25). - С. 35 – 39.
5. Валиев М.Ш., Қосимов Х.Р. / Локомотивларнинг техник ҳолатини микропроцессор тизими ёрдамида аниқлаш. // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте 20-21 декабря 2019 г. стр. 118-122.
6. Г.И. Бабокин Применение нейронных сетей для диагностики электромеханических систем / Шпрехер Д.М. // НИ-РХТУ-2011г., С. 132-139.
7. Грачев В.В., Валиев М.Ш.. Оценка технического состояния тепловозного дизеля по данным бортовой микропроцессорной системы управления // Известия ПГУПС, -2010-Вып.1- с.22-32.
8. Сергеев. С.В., Камышников С.А. Система МСУ-Т магистрального пассажирского тепловоза ТЭП70БС // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.64-76.
9. Федотов М.В. Унифицированная микропроцессорная система управления и диагностики (МСУД) // Труды ВНИКТИ, -2004-№ 83-с.8-10.
10. Diagnostics of the Technical Condition of Rolling Bearings of Asynchronous Traction Motors of Locomotives Based on Data Mining. Russ. Electr. Engin. 91 (10), 593–596 (2020). 91, pp.604–608 (2020). DOI: 10.3103/S1068371220100119.
11. Абдулазиз Юсуфов Махамадали ўғли, Қодиров Нозим Солиевич, Жамилов Шухрат Фармон ўғли, Келдибеков Зокир Оллабердиевич. (2022). “Ўзбекистон темир йўллари” акциядорлик жамияти локомотив паркини техник ҳолатини таҳлили. “Yosh Tadqiqotchi” Jurnalı, 1(1), 198–205. doi.org/10.5281/zenodo.6298747.

DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13384

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГЛАВНОЙ РАМЫ  
И ПРОДЛЕНИЕ СРОКОВ СЛУЖБЫ МАНЕВРОВЫХ ЛОКОМОТИВОВ НА АО “УТЙ”****Хамидов Отабек Рустамович***д-р техн. наук, доцент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Юсуфов Абдулазиз Махамадали угли***докторант,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [abdulazizyusufov@bk.ru](mailto:abdulazizyusufov@bk.ru)***Кодиров Нозимжон Солиевич***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Жамилев Шухрат Фармон угли***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Абдурасулов Шерзамин Хайитбоевич***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Абдулатипов Улугбек Исламжон угли***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***Сейдаметов Саидахмад Рахматуллаевич***ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент***FORECASTING THE RESIDUAL LIFE OF THE MAIN FRAME  
AND EXTENDING THE SERVICE LIFE OF SHUNTER LOCOMOTIVES AT JSC “UTY”****Otabek Khamidov***Doctor of technical sciences, docent  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Abdulaziz Yusufov***doctoral student,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent***Nozimzhan Kodirov***Assistant,  
Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent*

**Shuxrat Jamilov**

Assistant,  
 Tashkent State Transport University,  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Sherzamin Abdurasulov**

Assistant,  
 Tashkent State Transport University,  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Ulugbek Abdulatipov**

Assistant,  
 Tashkent State Transport University,  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Saidakhmad Seydametov**

Assistant,  
 Tashkent State Transport University,  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена актуальным вопросам контроля и расчета остаточного ресурса главной рамы маневровых тепловозов эксплуатируемых на железной дороге Узбекистана. В статье представлено математические методы расчета остаточного ресурса локомотивов, а также обоснована целесообразность продления срока службы маневровых локомотивов на самой ранней стадии их развития. Полученные результаты с помощью программной среды Solidworks которая позволяет анализировать расчеты и выявлено силы, действующие на главную раму локомотивов. Также представлено математическое описание происходящих в процессе работы главной рамы локомотивов, при исследовании сложных физических явлений. Кроме этого, проанализировано 3-D модель главной рамы с усилиями. Проведен анализ локомотивного парка АО «Узбекистон темир йўллари» исходя из данных парка произведен детальный анализ маневровых локомотивов. Исследованы методы прогнозирования остаточного ресурса главной рамы и продления сроков службы маневровых локомотивов.

**ABSTRACT**

The article is devoted to topical issues of control and calculation of the residual life of the main frame of shunting diesel locomotives operated on the railway of Uzbekistan. The article presents mathematical methods for calculating the residual life of locomotives, and also substantiates the expediency of extending the service life of shunting locomotives at the earliest stage of their development. The results obtained using the Solidworks software environment, which allows you to analyze the calculations and identify the forces acting on the main frame of the locomotives. A mathematical description of the main frame of locomotives occurring during the operation of the main frame of locomotives is also presented, in the study of complex physical phenomena. In addition, the 3-D model of the main frame was analyzed with efforts. An analysis of the locomotive fleet of JSC "UZBEKISTAN RAILWAYS" was carried out, based on the fleet data, a detailed analysis of shunting locomotives was carried out. Methods for predicting the residual life of the main frame and extending the service life of shunting locomotives have been studied.

**Ключевые слова:** эксплуатация, рама, металл, остаточный ресурс, сварные швы.

**Keywords:** operation, frame, metal, residual life, weld seam.

**Введение.** Маневровые локомотивы локомотивного парка АО «Узбекистон темир йўллари» исчерпан срок службы в течение тридцати лет новые маневровые локомотивы практически не было куплено со стороны АО «Узбекистон темир йўллари».

Эксплуатационный износ маневровых локомотивов, с одной стороны, и устойчивая тенденция роста объемов перевозок на железнодорожном транспорте Узбекистана (Узбекистон темир йўллари), с другой стороны, подтолкнуло к поиску радикальных способов увеличения количества тяговых единиц в эксплуатации. В качестве одного из возможных путей решения указанной проблемы было предложено проведение капитального ремонта с продлением

срока службы (КРП) маневровых локомотивов после истечения назначенного срока службы (более 50 лет).

При проведении КРП подразумевается осуществление глубокой модернизации конкретного объекта железнодорожного транспорта Узбекистана, направленной на повышение его эксплуатационных свойств и не ухудшающей его основных технических параметров (тяговых и т.п.). Такой подход эффективен при условии достаточно быстрой окупаемости модернизированного объекта железнодорожного транспорта, влечет необходимость сохранения его наиболее трудоемких и металлоемких узлов (главная рама, рамы тележек, кузов, кабина и т.п.), определяющих все компоновочные решения и идентификационный номер изделия [1].



### Анализ локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари»

Локомотивный парк АО «Ўзбекистон темир йўллари» постоянно пополняется современными

электровозами грузового и пассажирского подвижного состава. В таблице 1 приведен анализ численности локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари» в 2020-2021 годах [2].

Таблица 1.

Анализ численности локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари» в 2020-2021 годах

№	Тип локомотива	Состояние локомотивного парка в 2020 году	Состояние локомотивного парка в 2021 году
1	Электровозы	109	117
2	Поездные (магистральные) тепловозы	94	88
3	Электропоезда	18	18
4	Маневровые тепловозы (ТЭМ2 и ЧМЭ3)	173	173
5	Всего локомотивов	394	396

Первая и вторая диаграммы показывают долю тягового подвижного состава в процентах в 2020-2021 годах.

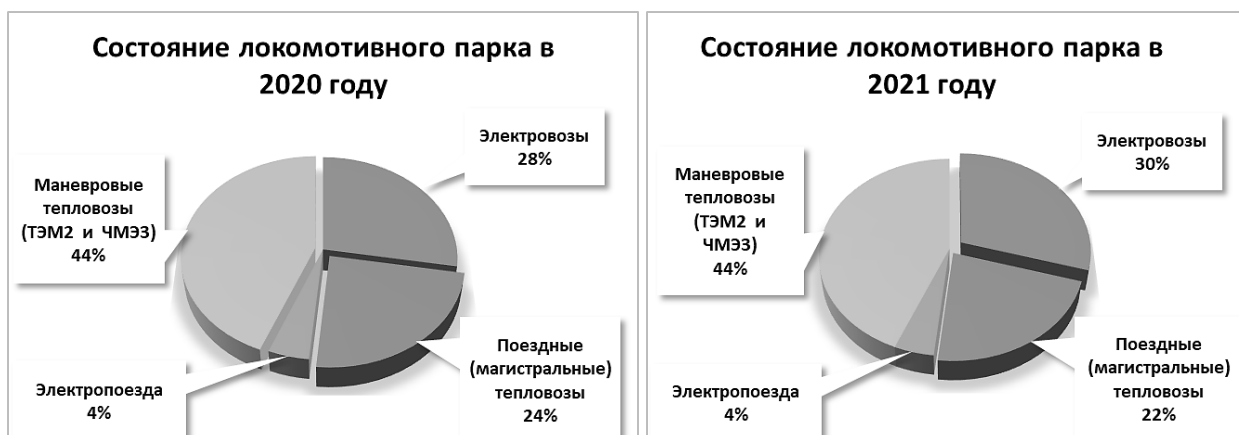


Рисунок 1: состояние локомотивного парка в 2020 году Рисунок 2: состояние локомотивного парка в 2021 году

Исходя из состояния локомотивного парка АО «Ўзбекистон темир йўллари» на 2020 год, согласно первой диаграмме, маневровые локомотивы составляют 44%, электровозы 28%, тепловозы 24% и электросекции 4% и на второй диаграмме 2021 году маневровых локомотивов 44%, электровозов 30%, тепловозы 22% и электросекции 4%.

В локомотивном парке в 2020-2021 годах маневровые локомотивы (ТЭМ2 и ЧМЭ3) составляют 44%, электровозы 4%, и мы можем наблюдать, что показатель не изменился. В основном изменения коснулись современных электровозов, которые увеличились

с 28% до 30% из-за покупки, в то время как тепловозы сократились с 24% до 22% из-за истечения срока службы. Виды и количество тягового подвижного состава позволяют определить средний возраст локомотивного парка на основе тесной связи их с годами выпуска (возрастом).

В таблице 2 ниже представлен анализ типов структуры тягового подвижного состава в текущем периоде эксплуатации в локомотивном парке АО «Ўзбекистон темир йўллари» по годам (возрасту) выпуска.

Таблица 2.

**Анализ по возрасту тягового подвижного состава при эксплуатации локомотивного парка  
АО «Узбекистон темир йуллари»**

№	Тип тягового подвижного состава	до 10 лет	от 10 до 20 лет	от 20 до 30 лет	Более 30 лет	Всего
1	Электровозы	44	12	30	30	116
2	Поездные (магистральные) тепловозы	45	7	9	99	160
3	Маневровые тепловозы (ТЭМ2 и ЧМЭЗ)	-	-	12	185	197
4	Всего локомотивов	89	19	51	314	473

В диаграмма 2, показано доля в процентах тягового подвижного состава более 30 лет в производстве локомотивного парка.



Рисунок 3. Состояние по выпуску

Производственному парку локомотивов более 30 лет, тягу подвижного состава выполняют маневровые локомотивы (ТЭМ2 и ЧМЭЗ) 59%, поездные (магистральные) тепловозы 31% и электровозы 10%.

Анализ лет выпуска маневровых локомотивов типа ТЭМ2 в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари» представлен в таблице 3.

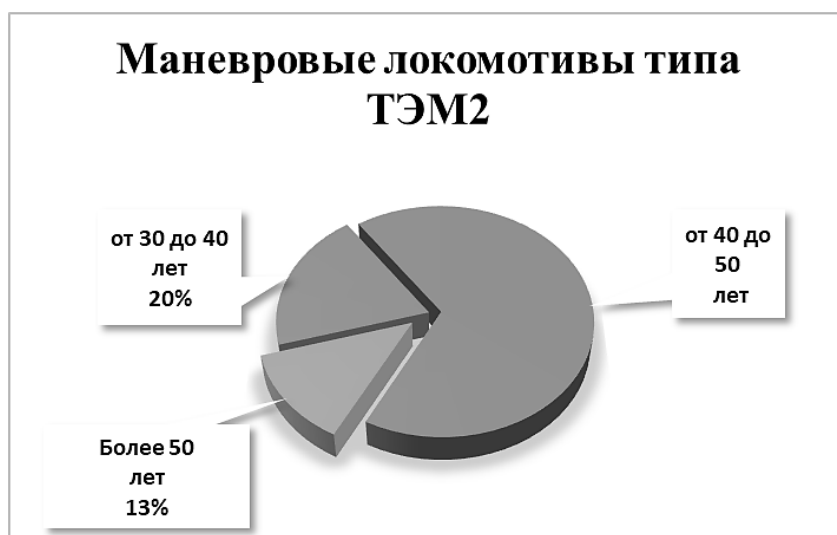
Таблица 3.

**Истечение срока службы тепловозов серии ТЭМ2 локомотивного парка АО «Узбекистон темир йуллари»**

№	Тип маневрового локомотива	от 30 до 40 лет	от 40 до 50 лет	Более 50 лет	Всего
1	ТЭМ2	26	89	17	132

Из-за ограниченных инвестиционных возможностей очень сложно заменить маневровые локомотивы нового поколения на новые. Поэтому, в дополнение

к постепенному обновлению парка за счет приобретения новых маневренных локомотивов, также желательно продлить срок службы локомотива за счет капитального ремонта части парка.



*Рисунок 4. Диаграмма: Анализ маневровых локомотивов серии ТЭМ2 в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари» за годы выпуска*

На четвертой диаграмме приведен продолжительность срока службы со дня выпуска, можем заметить, что маневровые тепловозы серии ТЭМ2 составляют от 30 до 40 лет - 17%, от 40 до 50 лет - 65%, а 18% - более 50 лет. Срок службы при капитальном ремонте локомотивов типа ТЭМ2 увеличивается на основании нормативных документов и этот срок должен составлять не более 50 лет. Из четвертой диаграммы видно, что пятая часть узлов маневровые тепловозы серии ТЭМ2 в локомотивном парке АО «Узбекистон темир йуллари» прошла срок службы, и в худшем случае этот показатель увеличивается из года в год [1-3].

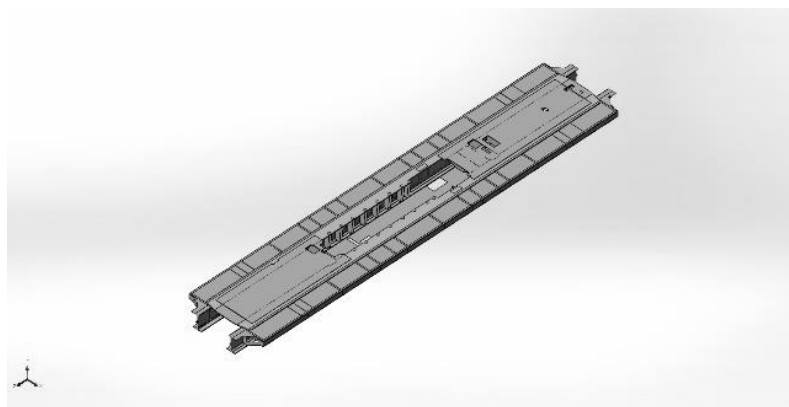
#### Результаты и анализ результатов

Определение остаточного срока службы главного рамы маневровых локомотивов осуществляется путем диагностики. В процессе диагностики, однако, управление без повреждений (неразрушающий контроль) и осуществляется в положении, когда главный рамы локомотива разделен на части.

Настоящая работа посвящена изучению особенностей при проведении КРП подразумевается осуществление глубокой модернизации конкретного

объекта железнодорожного транспорта Узбекистана, направленной на повышение его эксплуатационных свойств и не ухудшающей его основных технических параметров (тяговых и т.п). Такой подход эффективен при условии достаточно быстрой окупаемости модернизированного объекта железнодорожного транспорта, влечет необходимость сохранения его наиболее трудоемких и металлоемких узлов (главная рама, рамы тележек, кузов, кабина и т.п.), определяющих все компоновочные решения и идентификационный номер изделия [4].

Для предотвращения аварийных ситуаций и наоборот разрушение маневровых локомотивов эксплуатируемых на «Узбекистон темир йуллари» АО основным приоритетом является продления срока службы и обеспечения безопасности маневровых локомотивов с помощью преждевременного прогнозирования и устранения неисправностей. Остаточный ресурс маневрового локомотива определяется узлом, который имеет наименьший остаточный ресурс, этим узлом подвижной единицы является главная рама [5].



*Рисунок 1. 3-D модель главной рамы тепловоза серии ТЭМ2*

Рассмотрим основные методы для определения остаточного ресурса главной рамы маневрового локомотива. Для выявления остаточного ресурса служить несущая конструкция главной рамы маневрового локомотива. Маневровые локомотивы во время эксплуатации не эксплуатируются на полную мощность, исходя из этого можно предложить, что остаточный ресурс еще не выработан полностью.

Рассмотрим оценку остаточного ресурса главной рамы на основе маневрового тепловоза ТЭМ2. Маневровая работа является неотъемлемой частью перевозочного процесса. На сегодняшний день основным типом локомотивов, предназначенных для выполнения тяжелой маневровой работы на железных дорогах Узбекистана, являются тепловозы типа ТЭМ2[6].

Критические напряжения для стержней определяются по формуле Эйлера:

$$\sigma_{КРЭ} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2},$$

где E – модуль упругости;

$\lambda$  - гибкость стержня для  $\lambda > \lambda_{ПЦ}$ ,

$$\lambda_{ПЦ} = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_{ПЦ}}},$$

$\sigma_{ПЦ}$  - предел пропорциональности при сжатии (для стали Ст3

( $\sigma_{ПЦ} = 200$  МПа, для стали 09Г2  $\sigma_{ПЦ} = 270$  МПа).

Материалы, подвергнутые чистому сдвигу в области упругих деформаций, имеют критические напряжения, определяемые формулой:

$$\sigma_{КР} = k \frac{E}{1-\mu^2} \left(\frac{a}{b}\right)^2,$$

где, k – коэффициент, зависящий от отношения сторон пластины (a/b) и условий ее закрепления.

При совместном действии сжатия, изгиба и сдвига критические напряжения вычисляются по формулам:

$$\sigma_{КРС} = \sigma_{КР} \frac{c}{2\beta^2} \sqrt{c^2 + 4\beta^2} - c;$$

$$\tau_{КРС} = \tau_{КР} \frac{1}{2\beta} \sqrt{c^2 + 4\beta^2} - c,$$

где,  $c = \frac{\tau_{КР}}{\sigma_{КР}}$ ,  $\beta = \frac{\tau}{\sigma}$

Критические напряжения определяются по формуле:

$$\sigma_{КР} = 0,18 \frac{E \delta_{СК}}{R_{СК}},$$

где  $\delta_{СК}$  и  $R_{СК}$  - толщина и радиус кривизны панели обшивы.

Расчетные силы [7-8].

При расчетах на прочность экипажной части локомотива должны учитываться следующие силы:

- собственная сила тяжести (вес) экипажа и сила тяжести размещенного на нем оборудования;
- инерционные, упругие и диссипативные силы, вызванные колебаниями локомотива при его движении;
- силы от работы тяговых электродвигателей и других механизмов, установленных на локомотиве;
- силы, связанные с тягой локомотива и торможения поезда;
- аэродинамические силы;
- силы, возникающие при вписывании локомотива в кривые участки пути;
- силы соударения;
- силы, прикладываемые к элементам локомотива при ремонтно-аварийных работах.

Перечисленные силы при расчете напряженно-деформированного состояния экипажа локомотива принимаются действующими статически и приводятся к следующим основным схемам их приложения:

- вертикальные;
- боковые;
- продольные;
- кососимметричные.



Рисунок 2. Анализ напряжения на главную раму тепловоза серии ТЭМ2

Вертикальные силы состоят из собственной силы тяжести экипажа локомотива, силы тяжести, размещенного на нем оборудования и вертикальных составляющих динамических нагрузок.

Динамическая вертикальная сила от колебаний кузова на рессорном подвешивании определяется

умножением силы тяжести кузова, включая 1/3 силы тяжести пружин второй ступени рессорного подвешивания, на коэффициент вертикальной динамики этой ступени.

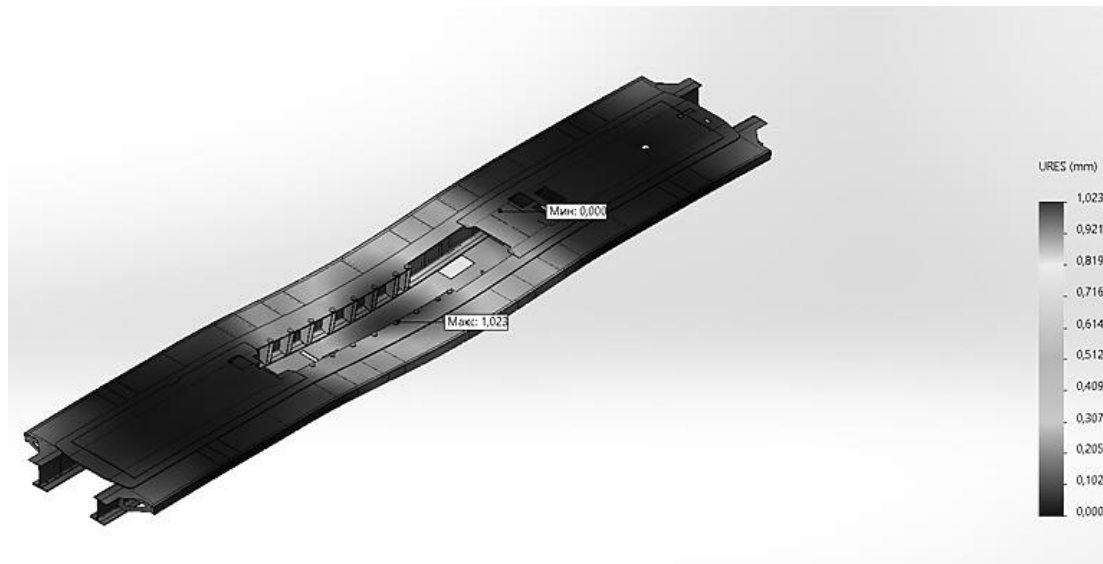


Рисунок 3. Анализ перемещений после усилий на главную раму тепловоза серии ТЭМ2

Динамическая вертикальная сила от колебаний тележки определяется умножением силы тяжести ее обрессоренной массы, включая 1/3 силы тяжести пружин обеих ступеней подвешивания, на коэффициент вертикальной динамики.

Расчетные коэффициенты вертикальной динамики определяются по формуле:

$$K_d = \left( \frac{0,006}{f_{CT}} \pm 0,004 \right) \sqrt{V},$$

где  $f_{CT}$  - общий статический прогиб рессорного подвешивания;

$V$  - скорость движения.

Знак « - » для элементов кузова; « + » для обрессоренных элементов тележки и над рессорных балок.

Под собственной силой тяжести экипажа локомотива понимается суммарная сила тяжести его частей, плюс 2/3 части топлива и песка.

Под силой тяжести оборудования понимается суммарная сила тяжести электрического, механического и другого оборудования, размещенного внутри кузова и вне его, а также на тележках, нагружающих расчетный элемент

Вертикальная составляющая (добавка) на тележку и кузов от продольной силы инерции кузова определяется по формуле:

$$\Delta P = P_{ИК} \frac{h_K}{2L},$$

где  $P_{ИК}$  - сила инерции кузова брутто;

$h_K$  - расстояние от центра тяжести кузова до плоскости опор на тележку;

$2L$  - база кузова.

Боковые силы определяются центробежной силой, силой давления ветра и динамическим взаимодействием локомотива и пути в горизонтальной плоскости.

Центробежная сила определяется отдельно для кузова и тележек, исходя из непогашенного ускорения  $0,7 \text{ м/с}^2$ .

Сила давления ветра определяется из расчета удельного давления ветра на боковую проекцию кузова (тележки) равного  $500 \text{ Н/м}^2$ .

Горизонтальные поперечные (рамные) силы, действующие на локомотив при вписывании в кривые, определяются из условия равновесия экипажа при движении его в круговой кривой с непогашенным ускорением  $0,7 \text{ м/с}^2$ . Коэффициент трения между колесом и рельсом принимается равным  $0,25$ .

Максимальные рамные силы не должны превышать 40% от силы тяжести локомотива.

Продольные силы представляют собой силы взаимодействия между локомотивом и вагонами, возникающие при движении в поезде, а также выполнении маневров, силы тяги и торможения и возникающие при этом продольные силы инерции.

Оценка сопротивления усталости и долговечности.

При отсутствии гистограммы распределения амплитудных значений напряжений, характеризующей нагруженность элемента за назначенный срок службы, и отсутствии параметров кривой усталости материала, оценку сопротивления усталости проводить по формуле:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma} \sigma_V + \psi \sigma_m} > [n],$$

где  $\sigma_{-1}$  - среднее значение предела выносливости стандартного образца при симметричном цикле нагружения;

$K_{\sigma}$  - коэффициент, характеризующий понижение предела выносливости конструкции по отношению к пределу выносливости стандартного образца;

$\sigma_V$  - амплитуда напряжений цикла;

$\sigma_m$  - среднее напряжение цикла;

$\psi$  - коэффициент, характеризующий влияние асимметрии цикла;

$[n]$  - допустимый коэффициент запаса сопротивления усталости.

Значение коэффициента понижения предела выносливости определяется из выражения:

$$K_{\sigma} = \frac{K_1 K_2}{\gamma m} \beta_K,$$

где  $K_1$  - коэффициент, учитывающий влияние неоднородности материала детали;

$K_2$  - коэффициент, учитывающий влияние внутренних напряжений детали. Величина его зависит от поперечных размеров детали;

$\gamma$  - коэффициент, учитывающий влияние размерного фактора;

$m$  - коэффициент, учитывающий состояние поверхности;

$\beta_K$  - эффективный коэффициент концентрации напряжений в узлах сложного очертания.

В связи с выработкой ресурса (более 50 лет), износом несущих конструкций этих типов тепловозов и появлением дефектов, одной из основных проблем является обеспечение прочности, надёжности и долговечности конструкции главной рамы тепловоза.

### Заключение

Таким образом, показано, что своевременная выявление дефектов на узлах локомотивов служат для продления срока службы. Показано что состояния главной рамы определяет интенсивности работы локомотива и его долговечность и работоспособность. Представленная математической модели расчета нагрузок локомотивных главной рам позволяет максимально достоверно описать физические процессы при повреждении и неисправностях. С помощью предлагаемой модели диагностики может быть проведены работы по продлению срока службы локомотивов.

### Список литературы:

1. Юсуфов А.М. Оценка остаточного ресурса главных рам маневровых тепловозов / Хамидов О.Р/ UNIVERSUM научный журнал Москва 2022 59-63 стр. DOI - 10.32743/UniTech.2022.95.2.13174.
2. Абдулазиз Юсуфов Махамдали ўғли, Қодиров Нозим Солиевич, Жамилов Шухрат Фармон ўғли, Келдибеков Зокир Оллабердиевич. (2022). “Ўзбекистон темир йўллари” акциядорлик жамияти локомотив паркинни техник ҳолатини таҳлили. “Yosh Tadqiqotchi” Jurnalı, 1(1), 198–205. doi.org/10.5281/zenodo.6298747.
3. Волохов Г.М., Тихомиров В.П. Остаточный ресурс несущих конструкций тягового подвижного состава железных дорог: монография. Орел: ОрелГТУ, 2006. — 158 с.
4. Оганьян Э.С. Напряженно-деформированное состояние конструкций экипажной части тепловозов при соударениях и аварийных столкновениях // Тр. ВНИТИ. — Вып. 79. — Коломна, 1999. — С. 76—81.
5. Прочность подвижного состава при соударении // Железные дороги мира. — 2000. — № 4. — С. 32—36.
6. Теория и конструкция локомотивов: учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г.С. Михальченко, В.Н. Кашников, В.С. Коссов, В.А. Симонов; под ред. Г.С. Михальченко. — М.: Маршрут, 2006. — 584 с.
7. Нормы для расчета прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог колеи 1520 мм. — М.: ВНИИЖТ, 1998. — 145 с.
8. Прочность и безотказность подвижного состава железных дорог / под ред. А.Н. Сокольника. — М.: Машиностроение, 1990. — 288 с.

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ СТРАТЕГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ УСТОЙЧИВОГО ТРАНСПОРТА

**Шадиметов Юсуфжан Шадиметович**

д.ф.н., профессор  
Ташкентского государственного транспортного университета,  
Председатель Общественного совета при Госкомэкологии Республики Узбекистан,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [shadimetov3@mail.ru](mailto:shadimetov3@mail.ru)

**Айрапетов Дмитрий Алексеевич**

ассистент  
Ташкентского государственного транспортного университета,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [ayrapetov92@mail.ru](mailto:ayrapetov92@mail.ru)

## CURRENT ISSUES IN THE STRATEGY FOR ENVIRONMENTALLY SUSTAINABLE TRANSPORT

**Yusufzhan Shadimetov**

Doctor of Philological Sciences,  
Professor of the Tashkent State Transport University,  
Chairman of the Public Council under the State Committee  
for Ecology of the Republic of Uzbekistan,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Dmitriy Ayrapetov**

Assistant  
of Tashkent State Transport University,  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются актуальные проблемы стратегии экологически устойчивого транспорта. Одной из важнейших особенностей современной транспортной политики является снижения его негативного влияния на окружающую среду и здоровье населения. Это особенно актуально для стран Центральноазиатского региона, которые расположены на пересечении Великого шелкового пути и, как предполагается, примут на себя высокую долю растущего объема евроазиатских транспортных перевозок.

### ABSTRACT

The article discusses current issues of the strategy of environmentally sustainable transport. One of the most important features of modern transport policy is to reduce its negative impact on the environment and public health. This is especially true for the countries of the Central Asian region, which are located at the intersection of the Great Silk Road and are expected to take on a high share of the growing volume of Euro-Asian transport.

**Ключевые слова:** устойчивый транспорт. Великий шелковый путь, природные экосистемы, стратегия, цели устойчивого развития.

**Keywords:** sustainable transport. The Great Silk Road natural ecosystems, strategy, sustainable development goals.

Одной из важнейших особенностей современной транспортной политики является требование соответствия транспорта целям устойчивого развития, необходимости снижения его негативного влияния на окружающую среду и здоровье населения. Это особенно актуально для стран Центральноазиатского региона, которые расположены на пересечении Великого шел-

кового пути и, как предполагается, примут на себя высокую долю растущего объема евроазиатских транспортных перевозок [1].

Уже сейчас страны региона имеют довольно развитую транспортную коммуникацию, растущий объем пассажиро- и грузоперевозок. Например, только в Узбекистане состав парка дорожно-транспортных средств составляет более 3,1 млн. ед. автомобилей, из

них 82% - легковые автомобили, 14% грузовые автомобили и 4% автобусы. Подобная тенденция увеличения общего количества подвижного состава наблюдается и в других странах региона.

Такая мощная нагрузка на хрупкую экосистему региона в условиях жаркого климата оказывает крайне негативное влияние на природные экосистемы и здоровье населения и требует создания целостной стратегии экологически устойчивого транспорта [2]. В целом, актуальность разработки такой единой стратегии вызвана следующими обстоятельствами:

1. Нанесением ущерба окружающей среде и здоровью человека со стороны транспорта, а также необходимостью снизить воздействие этих факторов в соответствии с экологическими задачами и поддерживать их в допустимых пределах, особенно в отношении атмосферного загрязнения, шума и эмиссии парниковых газов;

2. Особой ситуацией, сложившейся в регионе Центральной Азии, где пересекаются транспортные маршруты многих стран и где имеются высокий потенциал увеличения объема транспортных перевозок, особенно транзитных.

3. Высоким уровнем внешних экологических и социальных издержек, которые до сих пор не возмещаются загрязняющими видами транспорта, что ведет к нарушениям на рынке транспорта и ослабляют конкурентоспособность экологически безопасных видов транспорта;

4. Настоятельной необходимостью внедрения принципа устойчивого развития на транспорте, а также необходимостью сделать транспорт экологичным;

5. Климато-географической особенностью региона, необходимостью разработки адаптационных механизмов к условиям окружающей среды в транспортной системе;

6. Необходимостью реализации решений конференции ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД), состоявшейся в Рио-де Жанейро в 1992 году, паневропейской конференции ООН по населенным пунктам (Хабитат-2), проходившей в Стамбуле и других решений международных форумов, относящихся к сфере транспорта и экологии.

За последнее столетие автомобильный, железнодорожный и воздушный виды транспорта преобразили облик нашего мира. Сспособствуя беспрецедентному увеличению числа туристических и деловых поездок и открывая широкий доступ к новым товарам и услугам, современный транспорт во многих аспектах улучшил возможности передвижения людей и сделал грузовые перевозки на большие расстояния самым обычным явлением. Помимо того, современный транспорт содействует развитию современных форм отдыха и досуга, а также расширению торговли. Индустрия транспорта сама стала одним из столпов современной экономики.

В силу этих обстоятельств долгое время считалось, что потребление транспортных услуг непосредственно связано с экономическим ростом. Вместе с тем, наряду с существенным вкладом в повышение качества жизни, новые виды транспорта принесли и новые проблемы. По мере того, как автомобиль все

больше становился неотъемлемой частью повседневной жизни, увеличивалось число автомобильных аварий [3].

С распространением автомобильного транспорта возросли загрязнения атмосферы и шумовое загрязнение, появились и другие отрицательные аспекты воздействия на здоровье человека и состояние окружающей среды. Особую тревогу вызывают канцерогенный, тератогенный и эмбриотоксический характер вредных выхлопных газов автомобилей. За последние годы отмечается тенденция роста раковых заболеваний, врожденных аномалий у детей в регионах с большим потоком транспорта. На фоне свинцового отравления у детей отмечаются поражения костно-мозговой системы.

Несмотря на все более очевидные экологические проблемы, порожденные эксплуатацией автомобильного транспорта, рост мирового парка автомашин и их пробег продолжают увеличиваться беспрецедентными темпами. При такой динамике предполагаемый взлет потребления транспортных услуг в ближайшее десятилетие еще более усугубит нынешние экологические проблемы и оставит грядущим поколениям весьма сомнительное наследие, ибо транспорт не только обостряет экологические проблемы, но и порождает их. Поэтому ясно, что структурный характер передвижения на пассажирском и грузовом транспорте, в долгосрочном плане, является экологически неустойчивым [4].

Современные виды транспорта изменили мир во многих отношениях. Чтобы они окончательно не изуродовали его, сведя тем самым на нет все те блага, которые они привнесли в нашу жизнь, необходимо изменить сложившиеся тенденции в потреблении транспортных услуг и произвести конструктивную модификацию средств транспорта, с тем, чтобы они в конечном счете не угрожали здоровью человека и состоянию окружающей среды [5,6].

Экологически устойчивый транспорт (ЭУТ). Для того, чтобы транспортные перевозки в нынешнем столетии не ставили под угрозу здоровье и благополучие людей, мы должны отказаться от традиционных подходов и найти качественно новые решения, сочетающие программные и технологические аспекты. Уже выдвинуто много новаторских предложений и ведется множество исследований. Но времени остается все меньше. Как подчеркивается в Повестке дня на 21 век, принятой ЮНСЕД, ключевой для будущего развития транспорта должна быть «устойчивость». Понятие «экологически устойчивый транспорт» подразумевает реализацию принципов устойчивого развития в транспортной отрасли экономики. Система устойчивого транспорта, это такая система, при которой:

1. Достигаются общепризнанные цели применительно к здоровью человека и качеству окружающей среды (например, цели, установленные ВОЗ в отношении атмосферных загрязнителей и шума);

2. Целостность экосистем не подвергается существенной угрозе;

3. Не усугубляются такие потенциальные глобальные явления, как изменение климата или разрушение озонового слоя [7].



На наш взгляд, стратегическими подходами обеспечения экологически устойчивого транспорта являются:

1. Интеграция принципов устойчивого развития в транспортную политику, а также установление общих руководящих принципов для перехода к системе устойчивого транспорта.

2. Разработка и утверждение экологических целей норм для транспортной системы.

3. Разработка, распространение и реализация стратегических мер, содействующих переходу к устойчивому пассажирскому и грузовому транспорту включая оценку экологических, экономических и социальных последствий транспортных программ и инфраструктур.

В этих стратегиях должно проводиться различие между снижением спроса на моторизованный транспорт, развитием средств с меньшей степенью загрязнения среды и, наконец, применением инновационных технологий. Кроме того, необходимо содействовать повышению общественного сознания в отношении устойчивого транспорта.

В целях выявления важнейших предпосылок для развития устойчивого транспорта необходимо:

- смоделировать сценарии, предусматривающие принятие различных, по своему характеру, мер снижения негативных факторов воздействия транспорта на среду;

- подготовить обзор и анализ прошлой и нынешней ситуации в сфере окружающей среды и транспорта, а также в сфере экологической и транспортной политики;

- представить перспективный обзор развития транспорта до 2020 года и на более отдаленную перспективу, а также его воздействия на окружающую среду региона Центральной Азии;

- разработать и смоделировать сценарий экологически устойчивого транспорта, используя ключевые показатели разработанные ОЭСР и ЮНЕП.

В апреле 2019 года в Пекине Президент Узбекистана Ш.Мирзиёев, выступая на международном форуме «Один пояс, один путь», выдвинул ряд инициатив по повышению транспортно-логистического потенциала Центральной Азии, достижению продовольственной безопасности через «зеленую экономику», развитию туризма, совместному решению экологических проблем и другим актуальным вопросам. Он отметил актуальное значение формирования экономического коридора Китай — Центральная Азия — Западная Азия. Большие перспективы здесь открываются с запуском автокоридора Ташкент — Андижан — Ош — Иркештам — Кашгар. Стратегическое значение приобретают проекты строительства железных дорог Узбекистан — Кыргызстан — Китай и Мазари-Шариф — Кабул — Пешавар [8].

Авторы данного исследования намерены обосновать и разработать дальнейшие программные выводы и рекомендации по переходу к экологически устойчивому транспорту в Центральной Азии и, по опыту Европейских стран, создать научную основу для формирования проекта «Окружающая среда и транспорт в Центральной Азии».

#### Список литературы:

1. Shadimetov Yu.Sh, Ayrapetov D.A., Ergashev B. Transport, ecology and health // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. Vol 8, Issue 4, no 33, 2021 – PP. 17226-17230. // URL: <http://www.ijarset.com/upload/2021/april/33-botir-28.PDF>
2. Барханаджян А.Л., Хакимов Р.М., Ибрагимов Б.Д., Собирова Д.К., Абдукаримова Г.У., & Айрапетов Д.А. Проблема использования отходов лакокрасочных материалов и их утилизация. // Известия Томского политехнического университета Инжиниринг георесурсов, 2020, № 331(9), С. 179–185. // URL: <http://izvestiya.tpu.ru/archive/article/view/2821/>
3. Komarov V., Kotsyubinskiy V., Akimova V., Voloshinskaya A. Стратегии «устойчивого транспорта»: лучшие мировые практики (Strategies for ‘Sustainable Transport’: Best International Practices) // SSRN Electronic Journal January 2019 DOI: 10.2139/ssrn.3351824
4. Projet on Enviromentally Sustanable Transport OESD // JSEL «Enviromental Directorate, Paris. 1997., P – 27.
5. Шадиметов Ю.Ш. Айрапетов Д.А., Ниязов Х. Возрастание роли здравоохранения в активизации человеческого фактора // Высшая школа, 2021., №21 С. 22-25.
6. Барханаджян А.Л., Хакимов Р.М., Ибрагимов Б.Д., Тиллаев А., Айрапетов Д.А. Характеристика лакокрасочных материалов для разметки автомобильных дорог на основе местного сырья // Проблемы современной науки и образования 2022 №1 (170) С. 7-11. DOI 10.24411/2304-2338-2022-10101 URL:<https://ipi1.ru/images/PDF/2022/170/karakteristika-lakokrasochnykh.pdf>
7. Бараш Ю.С., Корженевич И.П., Лихопек П.А. Сравнение видов транспорта с учетом устойчивого развития общества // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. 2009. №28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnienie-vidov-transporta-s-uchetom-ustoychivogo-razvitiya-obschestva>
8. Шадиметов Ю.Ш. Экологическая логистика (Экологистика): Учебник для высших учебных заведений. Ташкент. 2019. С. 268.

## ТРАНСПОРТНОЕ, ГОРНОЕ И СТРОИТЕЛЬНОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

DOI - 10.32743/UniTech.2022.97.4.13515

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРУЖИННО-ФРИКЦИОННОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА  
ГРУЗОВОГО ВАГОНА**Абдурахманов Жамшид Абдуганбар улы**

ст. преподаватель,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [ledi.81@mail.ru](mailto:ledi.81@mail.ru)

**Джаббаров Шухрат Ботирович**

канд. техн. наук, доц.,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [shuhratassistant@gmail.com](mailto:shuhratassistant@gmail.com)

**Хайдров Ойбек Улужбекович**

ст. преподаватель,  
Ташкентский государственный транспортный университет  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [tomyu-85@yandex.com](mailto:tomyu-85@yandex.com)

**Абдуллаев Бахром Актамович**

канд. техн. наук, доц.,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [baxrom86@yandex.ru](mailto:baxrom86@yandex.ru)

**Эргашева Василя Валижоновна**

ст. преподаватель,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [ledi.81@mail.ru](mailto:ledi.81@mail.ru)

**Абдуллоев Мирзо Килич угли**

ассистент,  
Ташкентский государственный транспортный университет,  
Республика Узбекистан, г. Ташкент  
E-mail: [mirzoabdulloyev@gmail.com](mailto:mirzoabdulloyev@gmail.com)

STUDY OF SPRING-FRICTION OF THE DRAINAGE APPARATUS  
OF THE FREIGHT CAR**Jamshid Abdurakhmanov**

Senior Lecturer,  
Tashkent State transport university  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Shukhrat Jabbarov**

Ph.D., Acting, Associate Professor  
Tashkent State transport university  
Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Oybek Khaidrov**

Senior Lecturer,  
 Tashkent State transport university  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Bakhrom Abdullaev**

Ph.D., Acting, Associate Professor  
 Tashkent State transport university  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Vasila Ergasheva**

Senior Lecturer  
 Tashkent State transport university  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**Mirzo Abdulloev**

Assistant,  
 Tashkent State transport university  
 Republic of Uzbekistan, Tashkent

**АННОТАЦИЯ**

Настоящая статья посвящена аналитическому обзору неисправностей ударно-тяговых приборов в эксплуатации. В настоящее время наибольшие скорости превышают 16 км/ч, при этом на механизированных горках со скоростями более 8 км/ч происходит уже до 60% соударений вагонов. По данным обследования, проведенного Уральским отделением ВНИИЖТ [6], максимальные скорости составили 19 км/ч. Вероятность соударений с повышенными скоростями постоянно возрастает из-за увеличения осевых нагрузок, роста числа механизированных горок и вагонов на роликовых подшипниках [5].

**ABSTRACT**

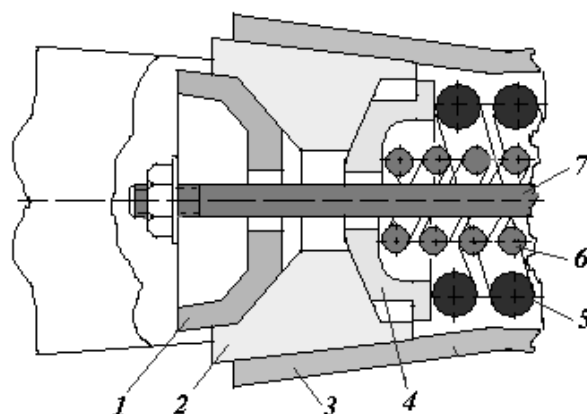
This article is devoted to an analytical review of malfunctions of shock traction devices in operation. Currently, at present, the highest speeds exceed 16 km/h, while on mechanized slides with speeds of more than 8 km/h, up to 60% of car collisions already occur. According to the survey conducted by the Ural branch of VNIIZhT [6], the maximum speeds were 19 km/h. The probability of collisions with increased speeds is constantly increasing due to an increase in axial loads, an increase in the number of mechanized slides and wagons on roller bearings [5].

**Ключевые слова:** поглощающий аппарат, рама, вагон, аппарат, износ, требования, движение, автосцепное оборудование.

**Keywords:** absorbing apparatus, frame, wagon, apparatus, wear, requirements, movement, automatic coupling equipment.

**Постановка задачи.** Известно [10], что поглощающие аппараты на вагонах функционируют для гашения импульса удара, заметно уменьшая продольные растягивающие и сжимающие силы, переходящие на раму вагона через автосцепное устройство. На практике эксплуатации вагонов наибольшее распространение получили пружинно-фрикционные аппараты шестигранного типа Ш-1-ТМ и Ш-2-В, Ш-6-ТО-4 и др. из-за простоты и возможности их проектирования с параметрами, отвечающими требованиям безопасности движения [15].

Физическая модель пружинно-фрикционного поглощающего аппарата приведена на рис. 1.



1 – нажимной конус; 2 – фрикционный клин; 3 – корпус аппарата; 4 – нажимная шайба; 5 – наружная пружина; 6 – внутренняя пружина; 7 – стяжной болт

**Рисунок 1. Пружинно-фрикционный поглощающий аппарат**

Для установления причины неравномерного износа фрикционных клиньев исследована модель фрикционного клина, где принят полный контакт трущихся пар трения по их наклонным поверхностям, что позволило считать реакции внешних связей, приложенных в середине контактируемых поверхностей [3]. Изучена модель поглощающего аппарата [16], учитывающего возможный кромочный контакт трущихся тел отдельными гранями по методике [4], где реакции внешних связей заменены четырьмя составляющими вместо двух, что противоречит классическим принципам теоретической механики [18; 2]. В связи с этим можно отметить, что до сих пор остаются не исследованы причины неравномерного износа фрикционных клиньев с нажимным конусом, горловиной корпуса аппарата и нажимной шайбой как пары трения. Подлежащими нахождению являются реакции внешних связей фрикционных клиньев и координаты точек их приложения относительно принятой системы отсчета [14].

**Методы решения.** Воспользуемся принципом освобожденности от связей, аксиомой равенства действия и противодействия, теоремой о трех непараллельных силах и условиями равновесия сил [18].

**Принятые допущения.** Предполагаем, что наклонные поверхности нажимного конуса и фрикционного клина контактируются в точке  $A$ . В этой же точке приложена сила  $\bar{F}$ , действующая со стороны нажимного конуса и воспринимаемая одним фрикционным клином. Примем, что координаты  $x_A$  и  $y_A$  точки  $A$  относительно системы отсчета  $Oxy$  известны. Считаем, что проекции реакции внешних связей фрикционных клиньев  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  на оси координат должны быть представлены в функции нагрузок от нажимной шайбы  $\bar{F}$  [6].

**Решение.** Технически пружинно-фрикционный поглощающий аппарат как *физический объект* с точки зрения теоретической механики и как *клиновой механизм* с точки зрения теории механизмов и машин выполнен так, что его три концентрично размещенные в шестигранной горловине корпуса 3 фрикционные клина 2 контактируются только тремя твердотельными элементами – нажимным конусом 1, корпусом 3 и нажимной шайбой 4 (рис. 1) [5; 14; 12; 15].

В качестве объекта исследования принимаем только один фрикционный клин поглощающего аппарата. Согласно принципу освобожденности от связей [18] поверхности контакта фрикционного клина со стороны корпуса и нажимной шайбы как внешних связей заменяем реакциями связей в виде  $\bar{R}_1$  (корпус аппарата) и  $\bar{R}_2$  (нажимная шайба) (рис. 2). Проводим оси координат  $Ox$  и  $Oy$  так, как показано на рис. 2 [5; 14; 12].

На рис. 2 приняты следующие обозначения:  $\bar{F}_c$  – продольная сжимающая сила от корпуса автосцепного устройства через упорную плиту;  $\bar{F}$  – доля силы  $\bar{F}_c$ ,

действующая со стороны нажимного конуса и воспринимаемая одним фрикционным клином, т.е.  $\bar{F} = \bar{F}_c / 3$ ;  $\bar{F}_n$  и  $\bar{F}_\tau$  – нормальная и касательная составляющие силы  $\bar{F}$ ;  $\alpha$  – угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с нажимным конусом;  $\beta$  – угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с корпусом аппарата;  $\gamma$  – угол наклона фрикционного клина с горизонталью, обеспечивающий контакт клина с нажимной шайбой [9; 1; 6; 5].

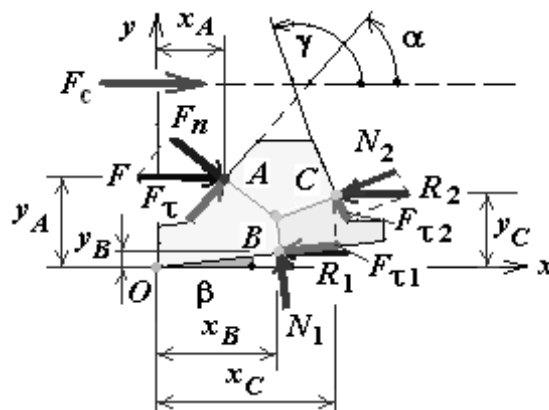


Рисунок 2. Расчетная модель фрикционного клина

Кроме того, на рис. 2 также обозначены:  $\bar{N}_1$  и  $\bar{F}_{\tau 1}$  – нормальная и касательная составляющие внешней связи  $\bar{R}_1$  (корпус аппарата), а  $\bar{N}_2$  и  $\bar{F}_{\tau 2}$  – соответственно  $\bar{R}_2$  (нажимная шайба);  $x_B, y_B$  и  $x_C, y_C$  – координаты точек приложения  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  относительно принятой системы отсчета  $Oxy$ , подлежащие нахождению [2; 7; 17; 8].

**Теоретическая часть.** Поскольку координаты  $x_A$  и  $y_A$  точки приложения доли силы  $\bar{F}$ , действующей со стороны нажимного конуса и воспринимаемой одним фрикционным клином, относительно принятой системы отсчета  $Oxy$  считали известными [2; 7], то согласно теореме о трех непараллельных силах нормальные составляющие  $\bar{F}_n, \bar{N}_1, \bar{N}_2$  силы  $\bar{F}$  и реакции связей  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  пересекаются в одной точке. Исходя из этого, можно сделать предположения о том, что координаты точек приложения реакции связей  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  в виде  $x_B, y_B$  и  $x_C, y_C$  зависят от координаты  $x_A$  и  $y_A$  точки приложения доли силы  $\bar{F}$ . Так, например, при увеличении (уменьшении)  $x_A$  увеличивается (уменьшается)  $x_B$ , а  $x_C$  уменьшается (увеличивается). Такое вполне возможно при кромочном контакте трущихся тел отдельными гранями.

Напишем условия равновесия фрикционного клина в виде:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0:$$

$$F_n \cos(\alpha + \frac{3}{2}\pi) + F_{\tau} \cos(\alpha) + N_1 \cos(\beta + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 1} \cos(\beta + \pi) + N_2 \cos(\gamma + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 2} \cos(\gamma) = 0; \tag{1}$$

$$\sum_{k=1}^n F_{ky} = 0:$$

$$F_n \sin(\alpha + \frac{3}{2}\pi) + F_{\tau} \sin(\alpha) + N_1 \sin(\beta + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 1} \sin(\beta + \pi) + N_2 \sin(\gamma + \frac{\pi}{2}) + F_{\tau 2} \sin(\gamma) = 0 \tag{2}$$

$$\sum_{k=1}^n m_O(\bar{F}_k) = 0:$$

$$F_n \cos(\alpha + \frac{3}{2}\pi) + F_{\tau} \cos(\alpha) + N_1 \left( \cos(\beta + \frac{\pi}{2}) + f \cos(\beta + \pi) \right) + N_2 \left( \cos(\gamma + \frac{\pi}{2}) + f \cos(\gamma) \right) = 0; \tag{6}$$

$$F_n \sin(\alpha + \frac{3}{2}\pi) + F_{\tau} \sin(\alpha) + N_1 \left( \sin(\beta + \frac{\pi}{2}) + f \sin(\beta + \pi) \right) + N_2 \left( \sin(\gamma + \frac{\pi}{2}) + f \sin(\gamma) \right) = 0 \tag{7}$$

После элементарных выкладок выражения (6) и (7) представим в виде следующих систем линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} N_1 a + N_2 b &= A_0; \\ N_1 c + N_2 d &= B_0, \end{aligned} \tag{8}$$

где  $a, b, c$  и  $d$  – безразмерные коэффициенты:

$$\begin{aligned} a &= \cos(\beta + \frac{\pi}{2}) + f \cos(\beta + \pi); \\ b &= \cos(\gamma + \frac{\pi}{2}) + f \cos(\gamma); \end{aligned}$$

$$-F y_A + R_1 y_B + R_2 y_C = 0, \tag{3}$$

где  $\bar{R}_1$  и  $\bar{R}_2$  – реакции внешних связей, находят по зависимостям:

$$\bar{R}_1 = \bar{N}_1 + \bar{F}_{\tau 1}, \bar{R}_2 = \bar{N}_2 + \bar{F}_{\tau 2}. \tag{4}$$

В трех составленных уравнениях (1)–(3) неизвестных пять –  $\bar{N}_1$  и  $\bar{F}_{\tau 1}$ ,  $\bar{N}_2$  и  $\bar{F}_{\tau 2}$ ,  $y_B$  и  $y_C$ .

Согласно закону Кулона [18]:

$$\bar{F}_{\tau} \leq f \bar{N}, \tag{5}$$

где  $f$  – коэффициент трения скольжения ( $f = 0,7 f_{\text{сц}}$  с учетом того, что  $f_{\text{сц}}$  – коэффициент трения сцепления между контактирующими поверхностями груза и пола вагона, принимаемый по справочным данным).

Перепишем (1) и (2) с учетом (5):

$$\begin{aligned} c &= \sin(\beta + \frac{\pi}{2}) + f \sin(\beta + \pi); \\ d &= \sin(\gamma + \frac{\pi}{2}) + f \sin(\gamma); \end{aligned} \tag{9}$$

$A_0$  и  $B_0$  – коэффициент, имеющий размерность силы:

$$\begin{aligned} A_0 &= -F_n \left( \cos(\alpha + \frac{3}{2}\pi) + f \cos(\alpha) \right); \\ B_0 &= -F_n \left( \sin(\alpha + \frac{3}{2}\pi) + f \sin(\alpha) \right). \end{aligned} \tag{10}$$

Применяя правило Крамера [2], из системы (8) находим неизвестные:

$$N_1 = \frac{A_0 d - B_0 b}{ad - bc}; N_2 = \frac{B_0 a - A_0 c}{ad - bc}. \tag{11}$$

**Список литературы:**

1. Аналитическая статика качения колес на скоростных участках сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 6 (288). – С. 8–16.
2. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М. : Наука, 1964. – 608 с.
3. Винокуров М.В., Шадур Л.А. Вагоны. – М. : Трансжелдориздат, 1953. – 704 с.
4. Глушко М.И., Антропова А.Н. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона // Вестник ВНИИЖТ. – 2004. – № 5. – С. 41–44.
5. К критическому анализу теоретических положений движения вагона с сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2018. – № 11. – С. 26–31.
6. Качение колес на скоростных участках сортировочной горки / Ш.Б. Джаббаров // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2019. – № 6 (24). – С. 79–83.
7. Кирьянов Д. Самоучитель MathCAD 13. – СПб. : БХБ-Петербург, 2006. – 528 с.
8. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (ч. IV) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 1. – С. 16–20.
9. Критический анализ теоретических положений движения вагона с сортировочной горки (ч. V) / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 3 (285). – С. 22–27.
10. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс : учебник для вузов ж.-д. трансп. / под ред. В.В. Лукина. – М. : Маршрут, 2004. – 424 с.
11. О вычислении профильной высоты головного участка сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев, Ш.Б. Джаббаров // Бюллетень транспортной информации. – 2019. – № 12 (294). – С. 15–20.
12. О неточности формулы воздушного сопротивления при движении вагона по профилю сортировочной горки / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.У. Саидивалиев, Ш.Б. Джаббаров // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – № 9. – С. 34–39.
13. О скольжении колесных пар вагона на тормозных позициях сортировочных горок / Х.Т. Туранов, А.А. Гордиенко, Ш.Б. Джаббаров, Ш.У. Саидивалиев // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2019. – № 5. – С. 16–21.
14. Об отсутствии теоретической базы формулы для определения высоты первого профильного участка сортировочного горба / Ш.У. Саидивалиев, Ш.Б. Джаббаров, Н.Б.У. Адилов, Н.К. Хожиев [и др.] // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 34. – С. 1467–1481.
15. Особенности движения вагона по спускной части сортировочной горки при попутном ветре / А.А. Гордиенко, Х.Х. Джалилов, Ш.Б. Джаббаров, С.Г. Инагамов // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2020. – № 2 (41). – С. 64–67.
16. Пряников С.А. Повышение надежности автосцепного устройства грузовых вагонов на основе совершенствования контроля технического состояния пружинно-фрикционных поглощающих аппаратов при ремонте: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Екатеринбург : УрГУПС, 2008. – 22 с.
17. Туранов Х.Т. Размещение и крепление грузов в вагонах. – Екатеринбург : УрГУПС, 2007. – 365 с.
18. Туранов Х.Т., Бондаренко А.Н. Теоретическая механика в задачах погрузки-выгрузки и перевозки грузов в вагонах. – Екатеринбург : УрГУПС, 2006. – 453 с.

## ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ЛИНИЙ И УГЛОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПЛАНИРОВОЧНЫХ СЕТЕЙ

*Казакбаева Мухаббат Турабаевна*

*ассистент,*

*Ташкентский государственный транспортный университет,*

*Республика Узбекистан, г. Ташкент*

*E-mail: [m\\_islombek@mail.ru](mailto:m_islombek@mail.ru)*

*Муҳаммаджонов Муроджон Рустам угли*

*ассистент,*

*Ташкентский государственный транспортный университет,*

*Республика Узбекистан, г. Ташкент*

*Дурдиев Хуршид Давронбек угли*

*ассистент,*

*Ташкентский государственный транспортный университет,*

*Республика Узбекистан, г. Ташкент*

## EVALUATION OF THE ACCURACY OF MEASUREMENTS OF LINES AND ANGLES IN CONSTRUCTION OF PLANNING NETWORKS

*Muhabbat Kazakbayeva*

*Assistant,*

*Tashkent State Transport University,*

*Uzbekistan, Tashkent*

*Murodjon Muhammadjonov*

*Assistant,*

*Tashkent State Transport University,*

*Uzbekistan, Tashkent*

*Xurshid Durdiyev*

*Assistant,*

*Tashkent State Transport University,*

*Uzbekistan, Tashkent*

### АННОТАЦИЯ

В данной статье описывается построение планировочной сети, точность геодезических измерений при проектно-планировочных и монтажных работах, расчет точности геодезических измерений, выполняемых на объекте или в процессе строительства, источники, величины и характеристики погрешностей, которые могут возникать в линейных и угловых измерениях.

### ABSTRACT

This article describes the construction of a planning network, the accuracy of geodetic measurements during design, planning and installation work, the calculation of the accuracy of geodetic measurements performed at the facility or during construction, the sources, magnitudes and characteristics of errors that may occur in linear and angular measurements.

**Ключевые слова:** ошибки измерения, Ошибка из-за наклона измерительного прибора, Среднеквадратическая ошибка длины линии.

**Keywords:** measurement errors, Meter tilt error, RMS line length error.

### Основная часть

Построение планировочной сети служит исходным пунктом для нормативных положений по монтажу сборных конструкций при определении точности геодезических измерений при выполнении про-

ектно-планировочных и монтажных осей, монтажных работ. Точность геодезических измерений, выполняемых на месте или в процессе строительства, следует учитывать заранее. Поэтому важно знать источники, величины и свойства ошибок, которые

могут возникать при измерениях линий и углов в конструкциях.

Ошибки измерения или прокладка линий на земле. Он показывает влияние различных ошибок на точность измерения расстояния, одна из которых является случайной, а другая систематической.

При измерении расстояния  $S$  измерителем длины  $l$ , если положить его на землю  $n$  раз, то случайные ошибки будут накапливаться пропорционально  $\sqrt{n}$ .

В соответствии с теорией погрешностей измерений среднеквадратические ошибки результатов измерений, случайные среднеквадратические ( $m_{\text{сл}}$ ) и систематические ( $m_c$ ) ошибки определяются по следующим формулам

$$m_s^2 = m_{\text{сл}}^2 n + m_c^2 n^2 \quad (1)$$

или

$$m_{\text{рас}} = \mu\sqrt{l}, \quad m_c = \lambda l \quad \text{и} \quad n = \frac{s}{l}, \quad (2)$$

Учитывая, что это

$$m_s^2 = \mu^2 S + \lambda^2 S^2,$$

где  $\mu$  – коэффициент случайного влияния, определяемый экспериментально в зависимости от типа данного средства измерений;  $\lambda$  – систематический коэффициент воздействия.

На строительной площадке измеряют линии разной длины: полученные результаты проверяют, помещая измерительный прибор на землю несколько раз, часто – один раз, в этом случае между заранее определенными (заданными) точками на местности или повторно измерения по модифицированной программе.

Если линия повторно измеряется несколько раз с одинаковой точностью, за результат принимается среднее арифметическое полученных результатов в качестве конечного результата.

Средняя квадратичная ошибка суммы строк, измеренных  $n$  линиями, выглядит следующим образом

$$m_{\Sigma} = m_{s'} \sqrt{n}, \quad (3)$$

$m_{s'} = \frac{m_{\Sigma}}{\sqrt{n}}$  ( $m_{s'}$  – среднеквадратическая ошибка одного измерения).

В свою очередь среднеквадратическая ошибка среднего арифметического в результатах измерений определяется по следующей формуле

$$M = \frac{m_{s'}}{\sqrt{n}} = \frac{m_{\Sigma}}{n}.$$

$$M^2 = \frac{m_{\text{рас}}^2}{n} + m_c^2. \quad (4)$$

Из этой формулы следует, что с увеличением числа поперечных измерений средняя квадратичная ошибка уменьшается в  $\sqrt{n}$  раз, а систематическая

среднеквадратическая ошибка данной серии одинаково точных измерений остается постоянной.

Рассмотрим ошибки, существенно влияющие на измерение.

Погрешность сжатия измерительного прибора. Если мы возьмем подсчет, отрегулировав планку с помощью увеличительного стекла, приняв среднеквадратичную погрешность 0,05 мм, и дважды сравним его с измерительным прибором с женеvской линейкой, среднеквадратическая ошибка уплотнения будет следующей.

$$m_1 = 0,05\sqrt{l} \text{ мм}, \quad (5)$$

где  $l$  — длина измерительного прибора, м.

При сжатии 20-метровой стальной рулетки  $m_1 = \pm 0,25$  мм.

Погрешность отклонения измерительного прибора от оси измеряемой линии. Отклонение концов измерителя, если оно больше заданного  $\varepsilon$ , вызывает следующую погрешность длины линии

$$m_2 \approx \frac{2\varepsilon^2}{l}. \quad (6)$$

При  $l = 20$  м и  $\varepsilon = 30$  мм  $m_2$  равно 0,09 мм.

Ошибка из-за наклона распределительного устройства. Учитывая погрешность определения относительной высоты концов измерительного прибора, погрешность измерения длины линии в поле можно определить по следующей формуле

$$m_3 = \frac{h}{l} m_h. \quad (7)$$

где  $m_h$  –  $l$  средняя квадратичная ошибка определения последней части относительной высоты  $h$  режущих концов длины  $l$ . При  $h \leq 0,03l$  и  $m_h = \pm 5$  мм,  $m_3 = \pm 0,15$  мм.

Погрешность взвешивания (натяжения) измерительного прибора. Если линию измерителем длины  $l$  провести с усилием  $F$  (кг), учтем стандартную ошибку  $m_F$ , то погрешность длины линии будет следующей: если измеритель подвешен,

$$m_4 = \left( \frac{p^2}{12F^2} + \frac{1}{\omega E} \right) l m_F, \quad (8)$$

Если измерение проводится в плоскости,

$$m_4' = \frac{l}{\omega E} m_F, \quad (9)$$

где  $p$  – масса средства измерений (кг),  $\omega$  – площадь поперечного сечения средства измерений, мм<sup>2</sup>  $E$  – модуль упругости,  $2 \times 10^4$  для стальной и  $1,6 \times 10^4$  для инварной проволоки.

При площади поперечного сечения  $10 \times 0,15$  мм ( $\omega = 1,5 \text{ мм}^2$ )  $\rho = 0,23$  кг, средняя квадратичная ошибка силы тяжести при 20-метровой стальной рулетке  $m_F = 0,5$  кг, тогда (3.2.7) и (3.2.7') определяется по формулам  $m_4 = 0,52$  мм и  $m_4 = 0,33$  мм, если  $m_F = 3$  кг, то  $m_4 = 2,2$  мм и  $m_4 = 2,0$  мм соответственно.



Потребуется динамометр, чтобы обеспечить натяжение с точностью до 0,5 кг.

Ошибка влияния ветра при измерении линии рулеткой в открытом положении. Воздействие ветра плоскостью  $\vartheta$  (м/сек) на висячую рулетку длиной  $l$  (м) и шириной  $a$  (мм) вызывает перегрузку и увеличивает тягу стрелы от постоянного напряжения.

Если при измерении рулеткой между отмеченными точками обнаруживается колебание стрелки  $f$ , то следующая формула определяет поправку к числу, полученному на рулетке

$$m_5 = \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{l} \quad (3.2.8)$$

Налоговая стрелка между рулеткой определяется по следующей формуле

$$f = \frac{ql^2}{8H}, \quad (3.2.9)$$

где значение  $q$  определяется по формуле (3')

Заменим значение  $f$  в формуле (3.2.8) по формуле (3.2.9) и получим следующее

$$m_5 = 0,65 \cdot 10^{-3} H^{-2} \delta^2 l^3 v^4_{мм}$$

или (3.2.10)

$$m_5 = 0,65 \cdot H^{-2} \delta^2 l^3 v^4_{мм}$$

Если  $v = 3,5$  м/сек,  $l = 20$  м,  $\delta = a = 6$  мм,  $H = 10$  кг то

$$m_5 = 0,65 \cdot 10^{-2} (6 \cdot 10^{-3})^2 (2 \cdot 10)^3 (3,5)^4 = 0,28 \text{ мм.}$$

#### Список литературы:

1. Авчиев Ш.К. Разработка методов и средств геодезического обеспечения при наладке концентраторов солнечной энергии: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Москва, 1991. – 22 стр.
2. Avchiyev Sh.K., Nazarov B. Yuqori aniqlikdagi geodezik ishlar: O'quv qo'lanma. – T.: 2003. – 83 bet.
3. Большаков В.Д., Ключин Е.Б., Васютинский И.Ю. Геодезия. Изыскания и проектирование инженерных сооружений: Справ. пос., – М.: Недра, 1991, – 238 стр.
4. Даниленко Т.С. Геодезические работы при создании комплексов инженерных объектов: – М.: Недра, 1995. – 223 стр.
5. Муравьев А.В., Гойдышев Б.И. Инженерная геодезия: учеб. для вузов. – М.: Недра, 1982, – 459 стр.
6. Зайцев А.К., Марфенко С.В. Геодезические методы исследования деформаций сооружений: – М.: Недра, 1991. – 272 стр.

Измерительный прибор будет влиять на погрешность измерения разности температур. Среднеквадратическая ошибка длины строки определяется по следующей формуле

$$m_6 = \alpha l m_t, \quad (3.2.11)$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного расширения стали, равный  $12 \cdot 10^{-6}$  б);  $l$  - длина измерительного прибора в метрах;  $m_t$  - средняя квадратичная погрешность средства измерений с учетом температуры, если  $l = 20$  м.,  $m_t = \pm 1^0$   $m_6 = \pm 0,24$  мм.

Результирующую погрешность под влиянием погрешностей фиксации и счета концов (концов) средства измерения рассчитывают по следующей формуле.

$$m_7 = \sqrt{m_{\text{окр}}^2 + m_{\text{ф}}^2}, \quad (3.2.12)$$

где  $m_{\text{окр}} = \frac{\alpha}{\sqrt{3}}$  - среднеквадратическая ошибка округления при счете или измерении,  $m_{\text{ф}}$  - среднеквадратическая ошибка фиксации измеряемого конца сечения.

Если принять  $\alpha = \pm 0,2$  мм,  $m_{\text{ф}} = \pm 0,3$  мм, то  $m_7 = \pm 0,32$  из рассмотренных фактов ошибки  $m_1, m_2, m_5$  являются систематическими, а  $m_3, m_4, m_6, m_7$  — ошибками со случайными эффектами.

В зависимости от решения задачи могут предъявляться дифференцированные требования к точности расчета причин ошибки. Увеличивая требование к определению одной из погрешностей измерения, можно снизить требования к другим, или же влияние погрешностей вообще можно свести к незаметным измерениям.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

Научный журнал

**UNIVERSUM:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 4(97)

Апрель 2022

Часть 5

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 54434 от 17.06.2013

Издательство «МЦНО»  
123098, г. Москва, улица Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74  
E-mail: [mail@7universum.com](mailto:mail@7universum.com)  
[www.7universum.com](http://www.7universum.com)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 3  
16+