

Научная статья
Статья в открытом доступе
УДК 629.4.072
doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-45-56

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ КОМФОРТНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ РИСКОВ СВЯЗАННЫХ С ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ ФАКТОРОМ В ПРОЦЕССЕ ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДА

Павел Алексеевич Харченко✉

Российские железные дороги, Москва, Россия
Lrk-9@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6888-2133>

Аннотация

В статье решаются задачи оценки плавности хода пассажирского поезда, качества и комфортности перевозки пассажиров железнодорожным транспортом, а также определения уровня профессиональных компетенций работников локомотивных бригад. Разработана комплексная имитационная компьютерная модель пассажирского поезда, позволяющая исследовать все процессы управления тяговым оборудованием и автотормозами поезда, влияющие на энергоэффективность, безопасность и динамику подвижного состава. Посредством инструментов нечеткой логики разра-

ботана методика рейтинговой оценки работников локомотивных бригад по критерию обеспечения плавности хода поезда. Приведены результаты экспериментальных поездок с пассажирскими поездами на участках Северо-Кавказской железной дороги. Получены зависимости силы тяги локомотива, скорости и продольного рывка вагонов пассажирского поезда.

Ключевые слова: клиентоориентированность, плавность хода, компьютерная модель, поезд, логика, профессиональные компетенции, бригада.

Ссылка для цитирования:

Харченко П.А. Методика оценки комфортности перевозки пассажиров железнодорожным транспортом для минимизации рисков связанных с человеческим фактором в процессе ведения поезда / П.А. Харченко // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 4. – С.45-56. doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-45-56.

Original article
Open Access Article

TECHNIQUE TO ASSESS THE COMFORT OF PASSENGER TRANSPORTATION BY RAIL TO MINIMIZE THE RISKS ASSOCIATED WITH THE HUMAN FACTOR WHEN RUNNING A TRAIN

Pavel Alekseevich Kharchenko✉

Russian Railways, Moscow, Russia
Lrk-9@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6888-2133>

Abstract

The paper solves the problems of assessing the smooth running of a passenger train, the quality and comfort of passenger transportation by rail, as well as determining the level of professional competencies of locomotive crew members. A comprehensive computer model of a passenger train is developed, which makes it possible to study all the processes of controlling traction equipment and train brakes that affect energy efficiency, safety and dynamics of rolling stock. Using fuzzy logic tools, a technique is developed for rating

employees of locomotive crews according to the criterion of ensuring smooth running of the train. The results of experimental trips by passenger trains on sections of the North Caucasus Railway are presented. The dependences of the locomotive traction force, the speed and the longitudinal jerk of the passenger train cars are obtained.

Keywords: customer orientation, smooth running, computer model, train, logic, professional competencies, team.

Reference for citing:

Kharchenko P.A. Technique to assess the comfort of passenger transportation by rail to minimize the risks associated with the human factor when running a train. Transport Engineering. 2024;4:45-56. doi: 10.30987/2782-5957-2024-4-45-56.

Введение

Транспортной стратегией РФ и долгосрочной программой развития ОАО «РЖД» до 2025 года определены ключевые задачи по повышению качества транспортных услуг в части комфортности, безопасности и энергоэффективности при сохранении ценовой политики и доступности железнодорожного транспорта [1, 2]. Для решения этих задач на сегодняшний день холдинг «Российские железные дороги» производит обновление парка подвижного состава, в том числе производится закупка двухэтажных вагонов с дисковыми тормозами и локомотивов с асинхронным тяговым приводом. Тяговый подвижной состав представляет собой сложный технический объект, с высоким уровнем автоматизации, который требует от исполнителей процессов управления определенных знаний, навыков и умений для обеспечения безопасности и качества перевозочной деятельности. Клиентоориентированность является ключевой компетенцией в компании, которая ориентирована на интересы клиента и повышение уровня сервиса в личной работе сотрудников и при организации работы подразделения [3,4]. Для повышения удовлетворенности пассажиров необходимо иметь четкую систему оценки качества выполнения перевозочной работы с пассажирскими поездами и высокий уровень профессиональ-

ного мастерства работников локомотивных бригад. Как показывает анализ жалоб пассажиров, по-прежнему остаются высокими риски возникновения критических продольно-динамических реакций при ведении поезда, как в режиме автоматического, так и ручного управления. В настоящее время не решена задача оценки плавности хода пассажирских поездов, качества управляющей деятельности машиниста при ведении поезда и оптимального назначения локомотивной бригады для выполнения перевозки пассажиров с минимальными рисками нарушения комфорта. Анализ значений продольно-динамических реакций производится преимущественно в грузовом виде движения для оценки риска обрыва автосцепных устройств вагонов, схода подвижного состава и развала груза. В пассажирских поездах за счет небольшой длины и масса состава, наличия электропневматического тормоза данные риски нивелированы. Однако при не профессиональном управлении машинистом тягой и тормозами поезда, значения продольного рывка могут превысить критические значения, а пассажиры могут получить физические травмы. По этой причине актуально исследование значений параметров продольной динамики в пассажирских поездах и оценки качества управления тяговым подвижным составом.

Материалы, модели, эксперименты и методы

Для исследования качества ведения поезда по критериям плавности хода, безопасности и энергоэффективности целесообразно использовать метод компьютерного имитационного моделирования. В отличие от натуральных экспериментов моделирование на ПЭВМ имеет ряд преимуществ: высокое быстродействие, низкая стоимость, выявление системных причин происходящих процессов, гибкость варьирования структуры модели и др. В условиях ограничений провозной и пропускной способностей железнодорожной сети,

необходимости изучения сложных динамических процессов, происходящих в поезде, моделирования аварийных и нестандартных ситуаций компьютерный эксперимент является уникальным ресурсом для исследований.

Автором разработана модель пассажирского поезда, которая состоит из электровагона переменного тока серии ЭП1м с коллекторным тяговым двигателем постоянного тока, 15 двухэтажных вагонов производства ОАО «Тверской вагоностроительный завод» и 1 вагона-

автомобилевоза. Схема размещения локомотива и состава поезда представлена на рис. 1 и соответствует исследуемому объ-

екту – скорому фирменному пассажирскому поезду № 36 «Северная Пальмира» сообщением Адлер-Санкт-Петербург.

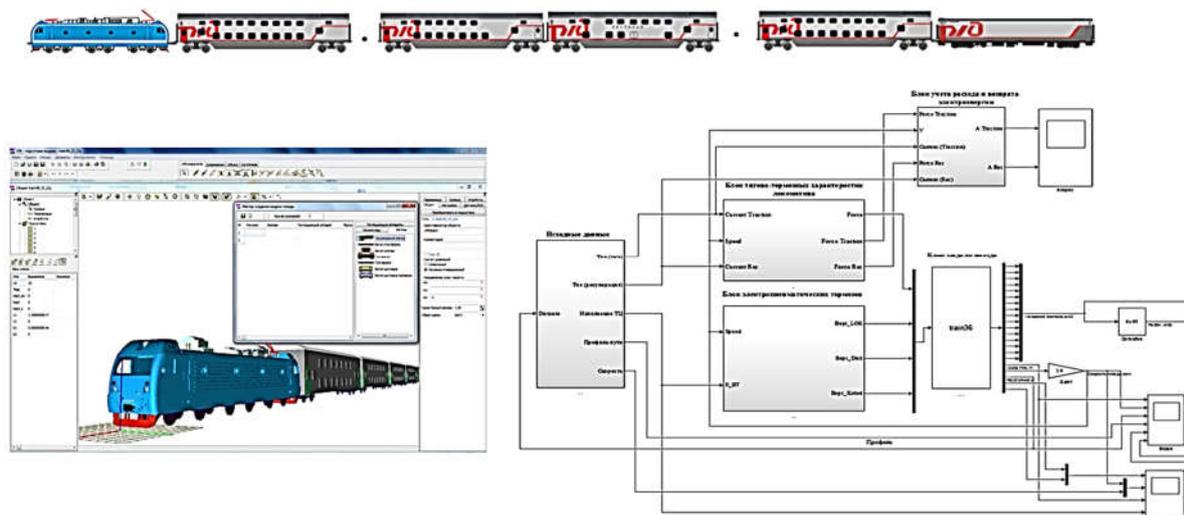


Рис. 1. Создание модели пассажирского поезда, состоящей из 16 вагонов, в ПК УМ и *Matlab Simulink*
 Fig. 1. Creation of a model of a passenger train, consisting of 16 railway carriages, in the software systems *UM* and *Matlab Simulink*

Комплексная модель пассажирского поезда создана посредством синтеза программных комплексов «Универсальный механизм» (ПК УМ) и *Matlab Simulink* и состоит из трех подсистем: электрической, механической и пневматической [5, 6]. В качестве исходных данных при моделировании использована информация универсальной системы автоматизированного ведения поезда (УСАВП). Альтернативным источником информации также могут быть выбраны другие средства объективного контроля, установленные на борту локомотива: основные и дополнительные приборы безопасности, системы ресурсосбережения, микропроцессорные системы управления тяговым приводом и диагностики. Блок регистрации УСАВП сохраняет на блок накопления информации более 40 технических, пневматических и энергетических параметров с высокой дискретностью, которые являются хорошим информационным ресурсом для проведения объективных комплексных исследований.

Входная информация формируется с помощью двумерной таблицы *Look-UP Table (2D)* и содержит значения скорости, давления в тормозных цилиндрах поезда,

токов ТЭД в режимах тяги и рекуперации, а также элементов профиля пути.

Модель механической части локомотива и вагонов разработана в ПК УМ с использованием модулей расчета динамики рельсовых экипажей *UM Loco* и поезда *UM Train* (рис. 2). Модель электровоза создается одномассовой и соединяется с вагонами биполярными силовыми элементами, которые имитируют автосцепное устройство и поглощающий аппарат. Для анализа плавности хода достаточно использовать упрощенное представление экипажей и принять допущение, что все тела движутся поступательно вдоль железнодорожного пути и пренебречь вертикальной и поперечной динамикой. Вертикальные и поперечные колебания вагонов определяются главным образом особенностями их конструкции (рессорным подвешиванием, характеристиками связей кузова с тележками и т. д.), то есть зависят от неизменяемых в процессе управления факторов. Характеристики продольных колебаний (подергивания) зависят от свойств сцепных приборов и амортизаторов удара, а также существенным образом связаны с алгоритмами управления тягой и торможением.

К локомотиву приложена внешняя сила тяги, формируемая в *Matlab Simulink*. Силы сопротивления движению локомоти-

ва W_L , Н и пассажирских вагонов W_B , Н определяются соответственно формулами из [7]:

$$W_L = 9,81(2,4 + 0,009v3,6 + 0,00035(v3,6)^2)m_L/1000, \quad (1)$$

$$W_B = 9,81(0,7m_B/1000 + (8 + 0,16v3,6 + 0,0023(v3,6)^2)4), \quad (2)$$

где: m_L – масса локомотива, кг; m_B – масса пассажирского вагона, кг; v – скорость движения, м/с.

Технические требования к подвижному составу пассажирского движения в части обеспечения плавности хода регламентированы стандартами [8]. В качестве показателей плавности хода в переходных режимах движения поезда (разгон, вход и выход из кривой, торможение) используются допускаемые значения ускорения и его первой производной – рывка [9].

$$a \leq [a], \quad \dot{a} \leq [\dot{a}], \quad (3)$$

где $[a] = 0,7 \text{ м/с}^2$ – допускаемое значение ускорения, а $[\dot{a}] = 0,7 \dots 1,0 \text{ м/с}^3$ – допускаемые значения рывка, принятые на железных дорогах России.

На прямолинейных участках пути в установившемся режиме с поддержанием постоянной скорости движения в качестве критерия плавности хода используется коэффициент плавности хода по Шперлингу [9]:

$$C = K_f \sqrt[10]{z_0^3 \omega^5} \leq [C] \quad (4)$$

где z_0 – амплитуда колебаний экипажа; ω – круговая частота колебаний экипажа; K_f – коэффициент, учитывающий влияние частоты и направления колебаний;

$[C] = 3,25$ – допускаемое в пассажирском движении значение коэффициента плавности хода.

Анализ жалоб пассажиров на комфортность при перевозке показал, что 90% из них связаны с нарушением критерия плавности хода в переходных режимах управления локомотивом. По этой причине в качестве критерия качества управления локомотивной бригадой, влияющего на комфортность пассажиров, выбрано значение рывка.

Моделирование электрической схемы локомотива выполнено в среде *Matlab Simulink* библиотеке *SimPowerSystem*, которая содержит комплекс блоков для создания виртуальных моделей электротехнических устройств и элементов силовой электроники. Для расчета сил тяги и рекуперативного торможения использованы тяговые и тормозные характеристики, приведенные в руководстве по эксплуатации завода – изготовителя локомотива. На вход двумерной таблицы *Look-UP Table (2D)* с характеристиками локомотива поступают параметры скорости и силы тока на якоре ТЭД, а на выходе формируется сила тяги. Блок рекуперативного тормоза сформирован аналогично (рис. 2).

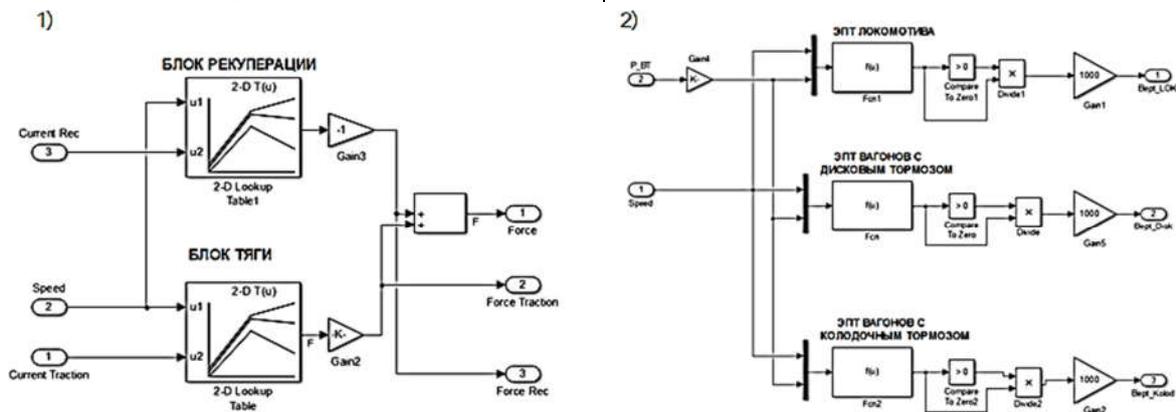


Рис. 2. Блоки тяги и рекуперативного торможения (1), блок электропневматического тормоза поезда (2), разработанные в *Matlab Simulink*

Fig. 2. Traction and regenerative braking unit (1), electro-pneumatic train brake unit (2), developed in *Matlab Simulink*

Этот метод позволяет получить модель, максимально приближенную к реальному физическому объекту и учесть все ограничения по сцеплению колеса с рельсом, максимальных значений токов ТЭД, реализовать режим работы локомотива с использованием ослабления магнитного поля. После расчета сила тяги подается в качестве входного параметра в ПК УМ «train 36», а на выходе формируется значение скорости поезда, которое возвращается в систему расчета *Matlab Simulink*.

Для получения модели, отражающей наиболее точно физические процессы при торможении поезда необходимо использовать действительную силу нажатия

$$B_{\text{к}}^{\text{лок}} = 24(31,37P_{\text{тц}} - 0,694)0,6 \frac{1,6(31,37P_{\text{тц}} - 0,694) + 100}{8 \cdot (31,37P_{\text{тц}} - 0,694) + 100} \frac{V + 100}{5V + 100}, \quad (6)$$

$$B_{\text{к}}^{\text{ваг}} = 16(29,066P_{\text{тц}} - 1,628)0,44 \frac{0,1(29,066P_{\text{тц}} - 1,628) + 20}{0,4(29,066P_{\text{тц}} - 1,628) + 20} \cdot \frac{V + 150}{2V + 150}, \quad (7)$$

где $P_{\text{тц}}$ – давление воздуха в тормозном цилиндре, МПа; V – скорость движения поезда

Для дискового тормоза тормозная сила определяется выражением [7]:

$$B_{\text{диск}}^{\text{ваг}} = m_{\text{н}} \cdot K_{\text{доп}}^{\text{диск}} \cdot \varphi_{\text{н}} \cdot \frac{r}{R}, \quad (8)$$

где $m_{\text{н}}$ – количество тормозных накладок, действующих на диск; $K_{\text{доп}}^{\text{диск}}$ – допускаемая сила нажатия накладок на диск, кН; $\varphi_{\text{н}}$ – коэффициент трения тормозной накладки, r – радиус тормозного диска, м; R – радиус колеса, м;

Общее усилие тормозной колодки рассчитывается по формуле согласно [11]:

$$K_{\text{доп}}^{\text{диск}} = (10cA - 630)11,41\eta, \quad (9)$$

где c – рабочее давление в тормозном цилиндре клещевого механизма, бар; A – эффективная (рабочая) площадь поршня, см²; η – КПД тормоза;

$$K_{\text{доп}}^{\text{диск}} = (100,981c105 - 630)11,41 \cdot 0,97 = 11400c - 6972,651, \text{ кН} \quad (10)$$

Коэффициент трения тормозной накладки равен [7]:

$$\varphi_{\text{н}} = 0,44 \frac{0,1K_{\text{доп}}^{\text{диск}} + 20}{0,4K_{\text{доп}}^{\text{диск}} + 20} \cdot \frac{V + 150}{2V + 150}, \quad (11)$$

Подставив (10) и (11) в (8), получим зависимость тормозной силы пассажирского вагона, оборудованного дисковым тормозом от величины давления в тормозном цилиндре:

$$B_{\text{диск}}^{\text{ваг}} = 16(11400c - 6972,651)0,44 \frac{0,1(11400c - 6972,651) + 20}{0,4(11400c - 6972,651) + 20} \cdot \frac{v + 150}{2v + 150} \cdot \frac{0,32}{0,475}. \quad (12)$$

Для формирования интегральной тормозной силы поезда численные значения скорости движения и давления в тор-

на колодку, которая зависит от давления в тормозных цилиндрах локомотива и конструкции подвижного состава.

Тормозная сила поезда складывается из тормозных сил локомотива и вагонов, оборудованных колодочным и дисковым тормозами [7].

$$B = B_{\text{к}}^{\text{лок}} + B_{\text{к}}^{\text{ваг}} + B_{\text{диск}}^{\text{ваг}}, \quad (5)$$

Расчет $B_{\text{к}}^{\text{лок}}$ и $B_{\text{к}}^{\text{ваг}}$ выполнен автором в [10]. Учитывая, что скорость движения локомотива и вагонов в составе одного поезда одинаковые, а также величины наполнения тормозных цилиндров, получим выражения для расчета тормозных сил:

В выражении (9) значения 630 Н – усилие возвратной (отпускной) пружины тормозного цилиндра, 11, 41 – коэффициент приведения механизма.

На двухэтажных пассажирских вагонах серий 64-4465, 64-4472, 64-4473 установлен диафрагменный тормозной цилиндр 16 типа. Подставив в (9) его технические параметры получим зависимость усилия тормозной колодки на дисковую накладку в зависимости от величины давления в тормозном цилиндре:

момном цилиндре подаются на блок задания функции $F_{\text{сн}}$, который содержит зависимости (6, 7, 12).

В качестве информации для базы оценки обеспечения плавности хода использованы результаты экспериментальных поездок с пассажирскими поездами на участке Лихая-Ростов Главный Северо-Кавказской железной дороги. База оценки формируется на основе частоты попадания локальных экстремумов функции рывка

(второй производной скорости) в заданные диапазоны. Для определения качества и эффективности человеко-машинного взаимодействия машиниста и систем управления локомотивом было выполнено 86 поездок во всем режимах управления: УСАВП, ручном и комбинированном. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1
Экспериментальные данные, полученные на основе результатов имитационного моделирования продольно-динамических реакций

Table 1

Experimental data based on the results of simulation of longitudinal dynamic reactions

№	Дата поездки	Частоты попадания локальных экстремумов функции рывка в заданные диапазоны					
		-1...-0,7	-0,7...-0,35	-0,35...0	0...0,35	0,35...0,7	0,7...1
		x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6
Режим автоведения поезда УСАВП							
1	23.07.20 г.	2	8	$3,25 \cdot 10^5$	$3,26 \cdot 10^5$	4	3
2	20.08.20 г.	0	140	$3,5 \cdot 10^5$	$3,54 \cdot 10^5$	6	1
3	22.08.20 г.	4	12	$3,67 \cdot 10^5$	$3,86 \cdot 10^5$	12	5
Ручное управление машинистом							
4	30.08.20 г.	0	52	$3,22 \cdot 10^5$	$3,29 \cdot 10^5$	52	0
5	31.08.20 г.	0	5	$4,26 \cdot 10^5$	$4,49 \cdot 10^5$	2	0
6	11.09.20 г.	0	25	$3,47 \cdot 10^5$	$3,58 \cdot 10^5$	4	0
Комбинированный режим (УСАВП+машинист)							
7	03.07.20 г.	18	59	$3,69 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^5$	13	1
8	04.07.20 г.	1	2	$3,37 \cdot 10^5$	$3,54 \cdot 10^5$	2	2
9	11.07.20 г.	4	68	$3,33 \cdot 10^5$	$3,51 \cdot 10^5$	38	15
10	25.07.20 г.	2	66	$3,39 \cdot 10^5$	$3,52 \cdot 10^5$	30	4
	Итого	31	437	$3,52 \cdot 10^6$	$3,64 \cdot 10^6$	163	31

Для определения рейтинговой оценки работников локомотивных бригад по критерию обеспечения плавности хода пасса-

жирских поездов воспользуемся следующим алгоритмом (рис. 3).

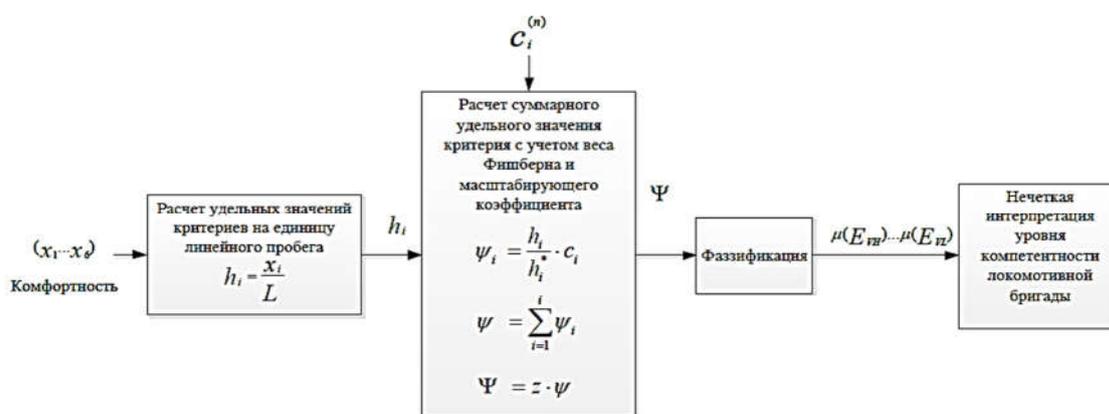


Рис. 3. Алгоритм вычисления оценки качества управляющей деятельности работников локомотивных бригад по критерию комфортности перевозки
Fig. 3. Algorithm for calculating the quality assessment of management activities of locomotive crew workers based on the criterion of transportation comfort

На основании статистических данных таблицы 1 вычислим удельный показатель рывка на 10 тыс. лок-км линейного пробега для 1 поездки для каждого диапазона h_i^*

(табл. 2), который соответствует среднему уровню профессиональных компетенций исследуемой выборки персонала.

Таблица 2

Данные для расчета оценок по критерию «Обеспечение комфортности»

Table 2

Data for calculating ratings according to the criterion of ensuring comfort

№	Число локальных экстремумов функции рывка в соотв. диапазоне x_i , ед.	Вес, C_i	Удельный показатель рывка на 10 тыс. лок-км для 1 поездки, h_i^* , ед.
1	31	0,25	190,2
2	437	0,1667	$2,68 \cdot 10^4$
3	$3,52 \cdot 10^6$	0,0833	$2,16 \cdot 10^7$
4	$3,64 \cdot 10^6$	0,0833	$2,23 \cdot 10^7$
5	163	0,1667	$1 \cdot 10^3$
6	31	0,25	190,2

Необходимо отметить, что значения рывка в 1 и 6 диапазонах $[a] = 0,7 \div 1,0$ м/с³ несут значительные риски нарушения комфортности перевозки и причинения вреда жизни и здоровью пассажиров в случае превышения величины 1 м/с³. Для того, чтобы учесть этот фактор при оценке качества управляющей деятельности локомотивных бригад используем весовые

коэффициенты $C_1 \dots C_6$ по правилу Фишберна [12].

$$c_i = \frac{2(m-i+1)}{(m+1)m}, i = 1 \dots m, \quad (13)$$

где i – ранг отдельного показателя; m – количество оцениваемых показателей.

Учитывая, что веса диапазонов попарно симметричны, получаем следующие значения весов:

$$c_1^{(2)} = 0,25; c_2^{(2)} = 0,1667; c_3^{(2)} = 0,0833; c_4^{(2)} = 0,0833; c_5^{(2)} = 0,1667; c_6^{(2)} = 0,25;$$

Таким образом, фактическое (статистическое) значение штрафного балла за нарушение параметров плавности хода на одну локомотивную бригаду составит:

$$\Psi = \sum_{i=1}^6 \Psi_i \quad (14)$$

$$\Psi_i = \frac{h_i}{h_i^*} \cdot c_i \quad (15)$$

где h_i – фактически оцениваемый удельный параметр рывка i -го диапазона; h_i^* – среднее значение рывка i -го диапазона, определенного на основе статистических данных.

Для согласования номинального значения штрафного балла с нечеткой шкалой, введем значение масштабирующего коэффициента $z = 0,5$ (так как сред-

ний уровень квалификации оцениваемых машинистов составил 2,47, при этом минимальный класс равен 4, а максимальный – 1). Отношение h_i / h_i^* характеризует степень соответствия номинального h_i^* (среднего определённого на основе статистических данных) и фактически оцениваемого h_i .

Для формирования терм-множеств лингвистической переменной «штрафной рейтинг», введем суммарное номинальное значение штрафа Ψ , которое будет вычисляться по формуле:

$$\Psi = z \psi \quad (16)$$

В нашем случае формула (16) примет вид:

$$\Psi = 0,5 \psi \quad (7)$$

Таблица 3

Вычисление оценки качества управляющей деятельности локомотивных бригад по критерию комфортности перевозки пассажиров на основе моделирования продольно-динамических реакций для выбранных поездок

Table 3

Calculation to assess the quality of management activities of locomotive crews according to the criterion of passenger comfort based on modeling of longitudinal dynamic reactions for selected trips

№	Дата поездки	Частоты попадания локальных экстремумов функции рывка в заданные диапазоны						Ψ	Ψ	R
		-1...-0,7	-0,7...-0,35	-0,35...0	0...0,35	0,35...0,7	0,7...1			
		Ψ_1	Ψ_2	Ψ_3	Ψ_4	Ψ_5	Ψ_6			
Режим автоведения поезда УСАВП										
1	23.07.20г.	0,161	0,031	0,077	0,075	0,041	0,242	0,627	0,314	4
2	20.08.20г.	0	0,534	0,083	0,081	0,061	0,081	0,84	0,42	5
3	22.08.20г.	0,323	0,046	0,087	0,088	0,123	0,403	1,07	0,535	7
Ручное управление машинистом										
4	30.08.20г.	0	0,198	0,076	0,075	0,532	0	0,881	0,441	6
5	31.08.20г.	0	0,019	0,101	0,103	0,02	0	0,243	0,122	1
6	11.09.20г.	0	0,095	0,082	0,082	0,041	0	0,3	0,15	2
Комбинированный режим (УСАВП+машинист)										
7	03.07.20г.	1,451	0,225	0,087	0,087	0,133	0,081	2,064	1,032	9
8	04.07.20г.	0,081	0,008	0,08	0,081	0,02	0,161	0,431	0,216	3
9	11.07.20г.	0,323	0,259	0,079	0,08	0,389	1,21	2,34	1,17	10
10	25.07.20г.	0,161	0,252	0,08	0,081	0,307	0,323	1,204	0,602	8

где R – место в рейтинге локомотивной бригады. При этом, чем меньше значение Ψ , тем выше рейтинг R .

С использованием инструментов нечеткой логики построим функции принадлежности терм-множеств лингвистической переменной E «Комфортность» (рис. 4). Множеством значений лингвистической переменной E является терм-множество $E = \{E_{VH}, E_{HG}, E_{MD}, E_{LW}, E_{VL}\}$, где E_{VH} – уро-

вень обеспечения комфортности «очень высокий»; E_{HG} – «высокий»; E_{MD} – «средний»; E_{LW} – «низкий»; E_{VL} – «очень низкий». При этом каждый терм из множества E является именем нечеткого подмножества на отрезке $[0, 1]$. Будем рассматривать эти подмножества как треугольные и трапециевидные нечеткие числа и их частные случаи.

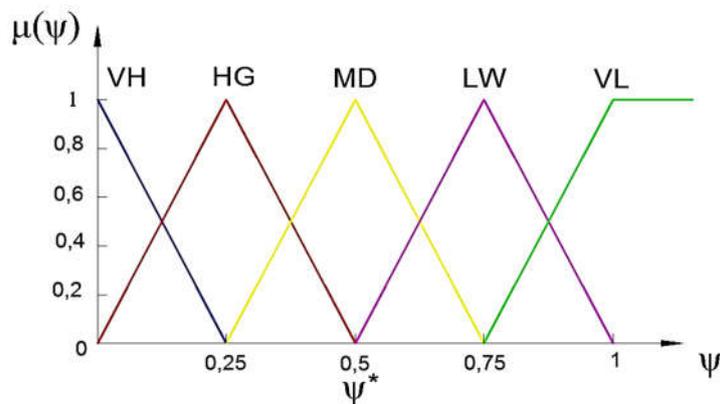


Рис. 4. Графики функций принадлежности терм-множеств лингвистической переменной «Комфортность»

Fig. 4. Graphs of membership functions of term sets of the linguistic variable «Comfort»

Значения терм-множеств функций принадлежности лингвистической переменной
«Комфортность»

The values of the term sets of functions belonging to the linguistic variable
«Comfort»

№ №	Дата	R	Ψ	Значения терм-множеств функций принадлежности				
				VH	HG	MD	LW	VL
Режим автоведения поезда УСАВП								
1	23.07.20г.	4	0,314	0	0,744	0,256	0	0
2	20.08.20г.	5	0,42	0	0,32	0,68	0	0
3	22.08.20г.	7	0,535	0	0	0,86	0,14	0
Ручное управление машинистом								
4	30.08.20г.	6	0,441	0	0,236	0,764	0	0
5	31.08.20г.	1	0,122	0,512	0,488	0	0	0
6	11.09.20г.	2	0,15	0,4	0,6	0	0	0
Комбинированный режим (УСАВП+машинист)								
7	03.07.20г.	9	1,032	0	0	0	0	1
8	04.07.20г.	3	0,216	0,136	0,864	0	0	0
9	11.07.20г.	10	1,17	0	0	0	0	1
10	25.07.20г.	8	0,602	0	0	0,592	0,408	0

Результаты

Эффективность метода оценки профессиональных компетенций работников локомотивных бригад по критерию обеспечения комфортности перевозки пассажиров была успешно подтверждена и апробирована в эксплуатационных локомотивных депо Северо-Кавказской дирекции тяги. Проведены эксперименты с пассажирскими поездами на участке Лихая-Ростов Главный. В качестве объекта испытаний выбран скорый фирменный поезд

№ 36 «Северная Пальмира» сообщением Санкт-Петербург-Адлер, состоящий из 15 вагонов.

На рис. 5 (1) представлены результаты поездки локомотивной бригады, имеющей 1 место в рейтинге с наилуч-

шим уровнем профессионального мастерства $VH = 0,096$ и $HG = 0,904$, а на рис. 5 (2) результаты поездки локомотивной бригады, находящейся на 9 месте и имеющей уровень компетентности $MD = 0,38$ и $LW = 0,62$. При ведении поезда в 1 случае, значения рывка не превышают уровня $0,35 \text{ м/с}^3$, а во втором случае значительно выше и составило $0,95 \text{ м/с}^3$, что несет риски нарушения плавности хода, дискомфорта пассажиров и физических травм.

При анализе режимов ведения поезда, установлено, что максимальные критические колебания допущены в переходных режимах различного сочетания управлений тягой и торможением.

Заключение

Разработанный метод анализа плавности хода пассажирских поездов посредством имитационного компьютерного моделирования с использованием информации средств объективного контроля, установленных на борту локомотива, позволяет оценить качество и комфорт перевозки пассажиров, а также управляющую деятельность локомотивных бригад в

процессе ведения поезда. Полученная информация позволяет комплексно и объективно оценивать профессионализм персонала железнодорожного транспорта, обеспечивающего движение поездов и принимать управленческие кадровые решения по подбору, расстановке, перемещениям, обучению и повышению квалификации.

Формирование рейтинга позволяет производить дифференцированно подбор и назначение на рейсы локомотивных бригад в зависимости от категорий поездов и требований к ним. Лучшие практики использованы при составлении режимных ин-

формационных карт для обучения вновь назначаемых машинистов локомотива. Методика успешно апробирована в эксплуатационных локомотивных депо Северо-Кавказской дирекции тяги.

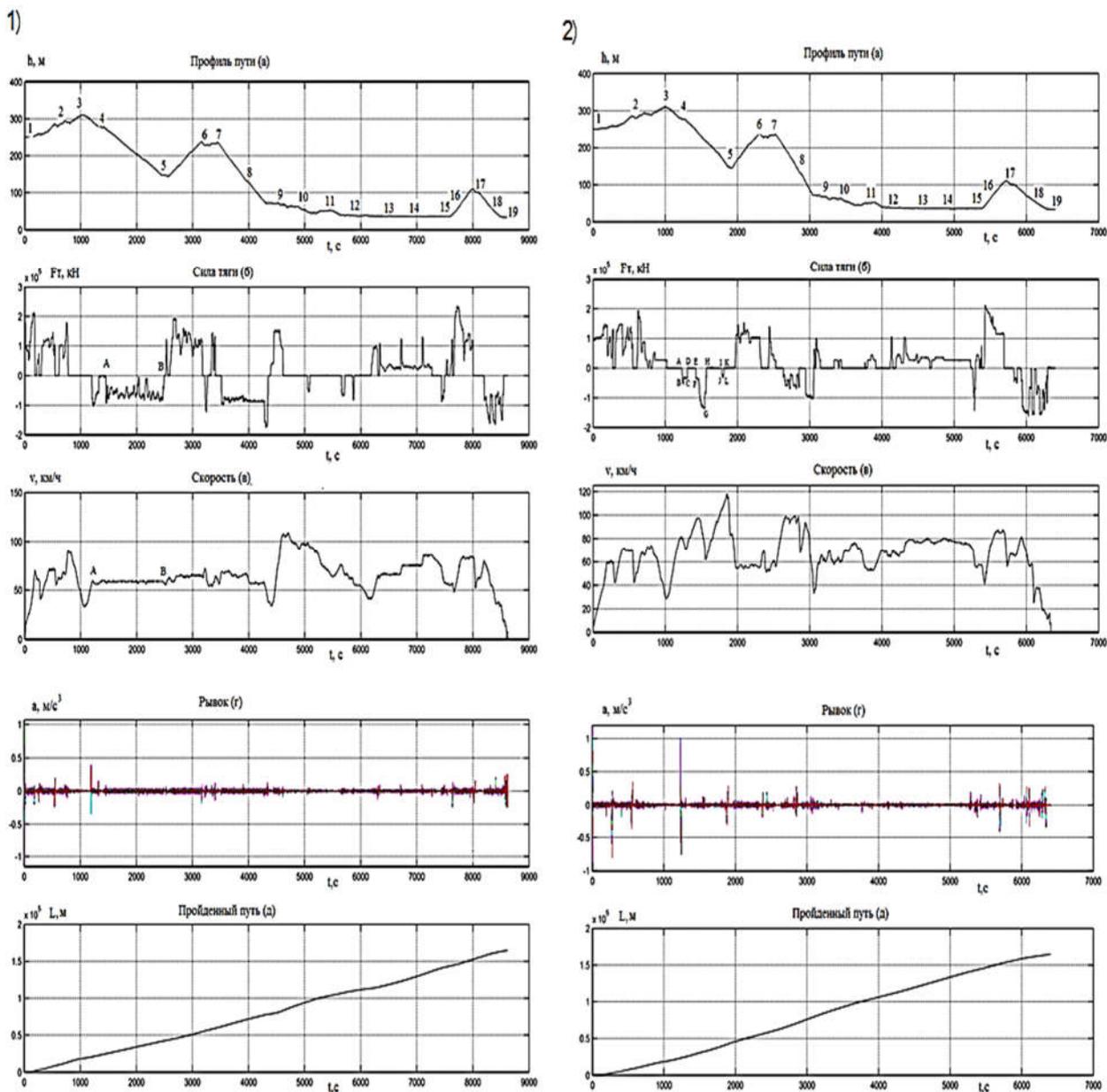


Рис. 5. Оценка плавности хода пассажирского поезда № 36 «Северная Пальмира» сообщением Санкт-Петербург-Адлер

Fig. 5. Assessment of the smoothness of the passenger train № 36 «Northern Palmyra» St. Petersburg-Adler

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2021г. № 3363-р «О Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года».

2. Солоп, И. А. Комплекс мероприятий, направленных на достижение качества предоставляемых транспортно-логистических услуг в рамках Долгосрочной программы развития ОАО «РЖД»/ И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева

// Наука и образование транспорту. 2022. № 1. С. 171-175.

3. Королева, Л. А. Качество обслуживания пассажиров железнодорожного транспорта (на примере ОАО "РЖД"): особенности и проблемы / Л. А. Королева, Е. Е. Омарова // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 1(26). С. 53-59.
4. Вакуленко, С. П. Клиентоориентированность пассажирского комплекса РЖД / С. П. Вакуленко, Е. В. Копылова // Экономика железных дорог. 2023. № 4. С. 38-47.
5. Моделирование системы управления тягой и торможением магистрального грузового тепловоза в программных комплексах Matlab и «Универсальный механизм» / Г. А. Федяева, В. В. Кобищанов, С. Ю. Матюшков, А. Н. Тарасов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 3(39). – С. 147-151.
6. Применение интерфейса UM Matlab Import при моделировании электромеханической системы поосного регулирования локомотива / Г. А. Федяева, Г. С. Михальченко, В. В. Кобищанов, Е. А. Комяжко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – № 4(40). – С. 134-138.
7. Правила тяговых расчетов для поездной работы. Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» приказом от 12.05.2016г. № 867р –

ОАО «Российские железные дороги», 2016. – 513 с.

8. OST 24.050.16-85. Вагоны пассажирские. Методика определения плавности хода. - М.: Стандартиформ, 1985. - 16 с.
9. Харченко, П. А. Анализ и пути оптимизации характеристик продольных колебаний вагонов в пассажирских поездах, управляемых универсальной системой автоведения / П. А. Харченко, Д. Е. Притыкин // Транспорт: наука, образование, производство : труды международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, Том 2. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2016. С. 182-186.
10. Харченко, П. А. Разработка компьютерной модели пассажирского поезда на основе данных современных средств регистрации параметров движения / П. А. Харченко, Н. В. Гребенников // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 2(62). – С. 38-46.
11. Bremszangeneinheit mit console fuer bremsbelag. C160927. [Электронный ресурс]., 2019. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
12. Фокин А.А. Особенности применения метода Фишберна в задачах распределения летного ресурса [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://novainfo.ru/120>, свободный (дата обращения 21.11.2023 г.).

REFERENCES

1. Decree N 3363-p of the Government of the Russian Federation. On the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a Forecast up to 2035. 2021 Nov 27.
2. Solop IA, Chebotareva EA. Set of measures aimed at achieving the quality of transport and logistics services provided within the framework of the Long-term development program of Russian Railways. *Nauka I Obrazovanie Transportu*. 2022;1:171-175.
3. Koroleva, LA, Omarova EE. Quality of passenger service in railway transport (by the example of Russian Railways): features and problems. *Education and Science in the Modern World. Innovations*. 2020;1(26):53-59.
4. Vakulenko SP, Kopylova EV. Customer orientation of the passenger complex of Russian Railways. *Railway Economy*. 2023;4:38-47.
5. Fedyaeva GA, Kobishchanov VV, Matyushkov SYu, Tarasov AN. Modeling of the traction and braking control system of a mainline freight locomotive in Matlab and Universal Mechanism software complexes. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2013;3(39):147-151.
6. Fedyaeva GA, Mikhilchenko GS, Kobishchanov VV, Komyazhko EA. Application of UM Matlab Import interface in modeling the electromechani-

cal system of locomotive axial control. *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2013;4(40):134-138.

7. Rules of traction calculations for train operation. 2016 May 12. *Russian Railways*; 2016.
8. OST 24.050.16-85. Passenger cars. The method to determine smooth running. Moscow: Standartinform; 1985.
9. Kharchenko PA, Pritykin DE. Analysis and ways to optimize the characteristics of longitudinal vibrations of cars in passenger trains controlled by a universal car driving system. *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 2016: Transport: Science, Education, Production; Rostov State Transport University. Rostov-on-Don*; 2016.
10. Kharchenko PA, Grebennikov NV. Development of a computer model of a passenger train based on data from modern means of registering motion parameters. *Vestnik of Rostov State Transport University*. 2016;2(62):38-46.
11. Bremszangeneinheit mit console fuer bremsbelag. C160927 [Internet]; 2019.
12. Fokin AA. Features of applying the Fishburn method in problems of flight resource allocation [Internet]. [cited 2023 Nov 21]. Available from: <http://novainfo.ru/120>.

Информация об авторе:

Харченко Павел Алексеевич, заместитель начальника службы по управлению тяговыми ресурсами северо-западного полигона – началь-

ник оперативного отдела Дирекции тяги – филиала ОАО «РЖД». Scopus-Author ID 57212391542, Author-ID-РИНЦ 122474.

Kharchenko Pavel Alekseevich - Deputy Head of the Traction Resources Management Service at the Northwestern Landfill, Head of the Operational De-

partment of the Traction Directorate, a branch of Russian Railways. Scopus-Author ID 57212391542, Author-ID-RSCI 122474.

Статья опубликована в режиме Open Access.

Article published in Open Access mode.

Статья поступила в редакцию 18.01.2024; одобрена после рецензирования 22.03.2024; принята к публикации 26.03.2024. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редсовета журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 18.01.2024; approved after review on 22.03.2024; accepted for publication on 26.03.2024. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Council of the journal *Transport Engineering*.