

Кравченко Е.А.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КОЭФФИЦИЕНТА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЦЕПНОГО ВЕСА ОТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ

В статье рассмотрен вопрос перераспределения нагрузок от колесных пар на рельсы в режиме реализации тяговых усилий. На основе использования теория планирования эксперимента получены зависимости, показывающие влияние эксплуатационных факторов на коэффициент использования сцепного веса. Предложено решение по регулированию усилия догружающего устройства в процессе эксплуатации с учетом полученных зависимостей.

Ключевые слова: коэффициент использования сцепного веса, теория планирования эксперимента, тяговые качества, перераспределение вертикальных нагрузок от колесных пар на рельсы, корреляция.

ВВЕДЕНИЕ

Достижение высоких тяговых качеств при проектировании и эксплуатации современного локомотива остается актуальной задачей. Перераспределение статических нагрузок колесных пар на рельсы в процессе эксплуатации является основной причиной ухудшения тяговых качеств локомотива, их ускоренного износа, повышенного воздействия на путь и, как следствие, вызывает снижение провозной и пропускной способности железных дорог и расстройство рельсового пути.

При проектировании локомотивов полагают, что статические нагрузки от колесных пар на рельсы одинаковые [1]. В действительности они имеют отклонения от расчетных значений [2]. Это связано с разными конструктивными и эксплуатационными факторами, анализ которых приведен в научных работах Голубенка А.Л. [3], Горбунова Н.И. [4], Коняева А.Н. [5] и других авторов [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Целью научной работы является оценка влияния эксплуатационных факторов на тяговые качества локомотива. Известно, что в качестве критерия оценки эффективно использовать коэффициент использования сцепного веса (КИСВ) [12, 13, 14, 15]. Для этого использовались результаты математического моделирования и теории планирования эксперимента.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСЛЕДОВАНИЙ

Метод теории планирования эксперимента позволяет существенно сократить число опытов и получить математическую модель исследуемого процесса, оценить совместное и самостоятельное влияние каждого фактора на процесс реализации тягового усилия. Метод планирования экспериментов предполагает выбор факторов, их уровней и интервалов варьирования, определение отклика системы, составление матрицы планирования и получение уравнения регрессии [16, 17, 18, 19].

Применительно к поставленным задачам для проведения численного эксперимента варьировались следующие факторы: изменение диаметра колес первой колесной пары вследствие износа, изменение массы локомотива вследствие расхода запаса экипаировочных материалов и изменение массы колесной пары из-за износа бандажей колес, влияние фрикционного гасителя колебаний в первой ступени рессорного подвешивания, изменение жесткостей первой и второй ступеней рессорного подвешивания в процессе эксплуатации.

Расчеты проводились для шестиосного магистрального тепловоза типа 2ТЭ116 и четырехосного маневрового тепловоза типа ТЭМ103.

Вторая ступень рессорного подвешивания маневрового тепловоза ТЭМ103 имеет повышенную жесткость – 45 кН/мм. По результатам статического моделирования установлено, что жесткость такой величины не оказывает влияние на коэффициент использования сцепного веса. Поэтому для маневрового тепловоза данный фактор не рассматривался. Анализ влияния фрикционных гасителей колебаний, установленных в первой ступени рессорного подвешивания тепловозов типа 2ТЭ116, за счет блокирования рессорного подвешивания значительно снижает коэффициент использования сцепного веса. При проектировании маневрового локомотива ТЭМ103 было предложено рационализаторское предложение по установке в первой ступени рессорного подвешивания гидравлических гасителей колебаний. Поэтому при планировании численного эксперимента для данного типа локомотива блокирование рессорного подвешивания фрикционными гасителями колебаний не рассматривалось. Таким образом, число факторов для магистрального тепловоза 2ТЭ116 составило шесть, для маневрового – четыре.

Для плана тепловоза 2ТЭ116 число парных взаимодействий равно 15, число тройных – 20; для плана тепловоза ТЭМ103 – парных – 6, тройных – 4.

Решение задачи, т.е. установление зависимости максимального коэффициента использования сцепного веса от исследуемых факторов получено в виде уравнения:

$$y = f(x_1, \dots, x_k),$$

где f – функция отклика; x_1, x_2 – факторы; $y = \eta$.

Для построения плана численного эксперимента выбирается исходная точка (основной или нулевой уровень), вокруг которой определяются опытные точки, симметричные относительно нулевого уровня. Результаты опыта с выбранным набором факторов позволяют построить модель, используемую для определения значений в других точках факторного пространства.

Поиск математической модели начинается с рассмотрения возможных состояний исследуемой системы.

Таблица 1

Граничные значения варьируемых переменных		
Параметр	Тип локомотива	
	ТЭМ103	2ТЭ116
Вес колесной пары, кН		
x_{1max} ;	20,51	17,7
x_{1cp} ;	19,01	16,23
x_{1min} .	17,5	14,76
Вес экипировочных материалов, кН		
x_{2max} ;	553,87	863,3
x_{2cp} ;	529,25	813,03
x_{2min} .	504,62	762,75
Жесткость первой ступени рессорного подвешивания, кНм		
x_{3max} ;	2,0	2,0
x_{3cp} ;	1,9	1,9
x_{3min} .	1,8	1,8
Жесткость второй ступени рессорного подвешивания, кНм		
x_{4max} ;	-	11,0
x_{4cp} ;	-	10,4
x_{4min} .	-	9,8
Радиус колеса локомотива, м		
x_{5max} ;	0,525	0,525
x_{5cp} ;	0,5215	0,5215
x_{5min} .	0,518	0,518
Сила трения фрикционного гасителя колебаний, кН		
x_{6max} ;	-	8,0
x_{6cp} ;	-	4,0
x_{6min} .	-	0

Так как уравнения регрессии получены в результате математического моделирования, при этом все расчеты выполнены в разработанной авторами компьютерной программе «Планирование эксперимента для железнодорожного транспорта» (свидетельство № 31722 от 21.01.2010) [20].

Значение КИСВ в центре плана для 2ТЭ116 равняется 0,79875, оценка свободного члена уравнения регрессии – 0,79875. Значения КИСВ в центре плана для ТЭМ103 – 0,86075, оценка свободного члена – 0,86075.

Уравнение регрессии коэффициента использования сцепного веса тепловоза 2ТЭ116 от эксплуатационных факторов в кодированной форме имеет вид:

$$\eta = 0,79875x_0 + 0,005937x_1 + 0,009125x_2 - 0,00281x_3 + 0,002437x_4 - 0,0115x_5 + 0,008187x_6 - 0,0001875x_1x_2 + 0,0001875x_2x_3 - 0,0005x_2x_5 + 0,000125x_1x_5x_6. \quad (1)$$

Результирующее уравнение регрессии в естественной системе координат:

$$\eta = -2,514 + 0,0188m_{кп} + 0,00164m_{эк} - 0,00585ЖI + 0,0041ЖII + +5,99R + 0,0533F_{ТР} - 0,00000254m_{кп}m_{эк} + - 0,0243m_{кп}R + 0,00136m_{кп}F_{ТР} + 0,000037m_{эк}ЖI + -0,00285m_{эк}R - 0,0985RF_{ТР} + 0,006m_{кп}RF_{ТР}, \quad (2)$$

где $m_{кп}$ – вес первой колесной пары; $m_{эк}$ – вес экипировочных материалов; $ЖI$ – жесткость первой ступени рессорного подвешивания; $ЖII$ – жесткость второй ступени рессорного подвешивания; R – радиус колеса локомотива, $F_{ТР}$ – сила трения фрикционного гасителя колебаний.

Уравнение регрессии коэффициента использования сцепного веса тепловоза ТЭМ103 от эксплуатационных факторов в кодированной форме имеет вид:

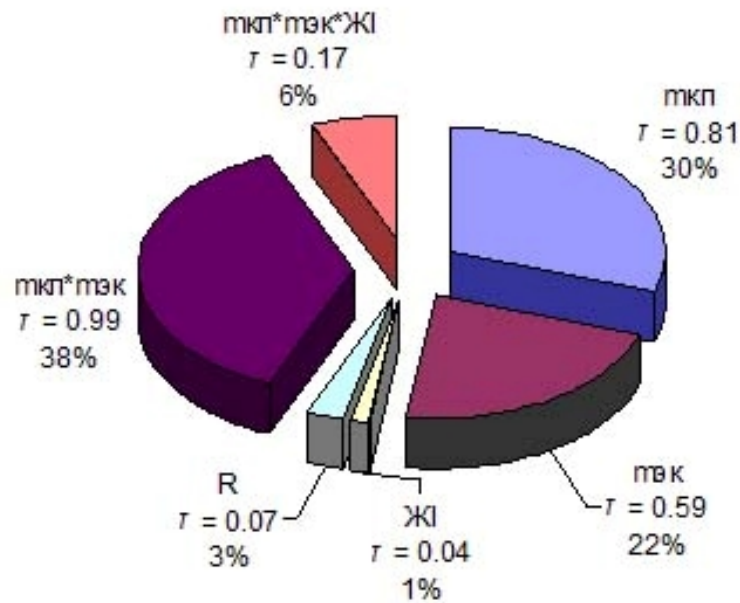
$$\eta = 0,86075x_0 + 0,0055x_1 + 0,004x_2 + 0,00025x_3 - 0,0005x_4 - 0,00025x_1x_2 + 0,00025x_1x_2x_3. \quad (3)$$

Результирующее уравнение для тепловоза ТЭМ103:

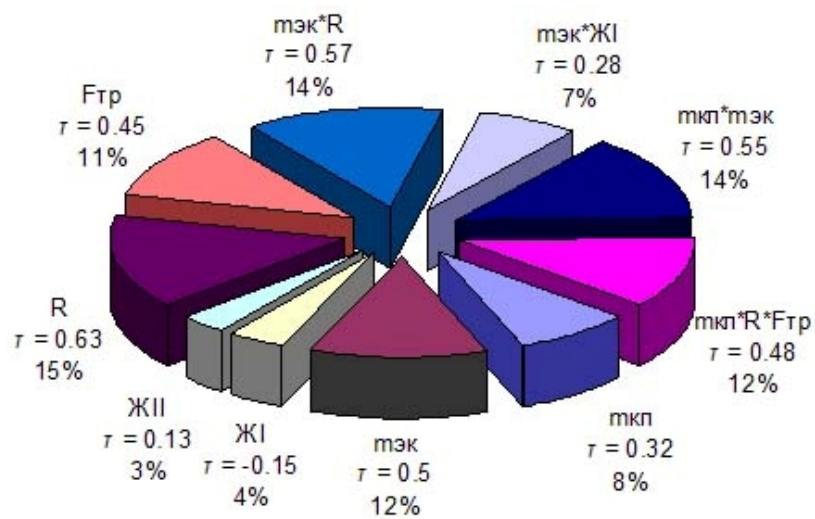
$$\eta = -0,582 + 0,075m_{кп} + 0,0027m_{эк} + 0,681ЖІ - 0,143R - 0,000135m_{кп}m_{эк} + 0,0357m_{кп}ЖІ - 0,00128m_{эк}ЖІ + 0,0000675m_{кп}m_{эк}ЖІ. \quad (4)$$

Полученные уравнения регрессии (2) и (4) дают возможность оценить влияние на КИСВ изменяемых в процессе эксплуатации параметров локомотива.

Суммарное отрицательное влияние от действия всех факторов для магистрального локомотива 2ТЭ116 составило 8,5 %, для маневрового локомотива ТЭМ103 - 2,4 %. Степень влияния каждого из факторов на результирующий параметр (КИСВ) определено с помощью вычисленных попарных корреляций (τ_{xy}) [21]. Результаты вычислений сведены в диаграммы (рис. 1), из которых следует, что наиболее негативное влияние для тепловоза ТЭМ103 оказывает парное действие изменения веса колесной пары и изменение веса кузова от расхода экипировочных материалов, для тепловоза 2ТЭ116 – изменение диаметра бандажа по кругу катания с учетом износа колесной пары.



а)



б)

Рис. 1. Влияние эксплуатационных факторов на тяговые качества тепловозов:
а – ТЭМ103; б – 2ТЭ116

ВЫВОДЫ

Перераспределение вертикальных нагрузок от колесных пар на рельсы негативно влияет на тяговые качества локомотива. Предположение, что статические нагрузки от колесных пар на рельсы одинаковые – не верное. Они имеют отклонения от расчетных значений, что связано с разными конструкционными и эксплуатационными факторами. В результате проведенных исследований составлены аналитические зависимости КИСВ от эксплуатационных факторов. Установлено, что от суммарного действия всех эксплуатационных факторов, КИСВ тепловозов типа 2ТЭ116 снижается на 8,5%, тепловозов типа ТЭМ103 – на 2,4%.

Несоответствие коэффициента использования сцепного веса нормативным требованиям предлагается компенсировать установкой догружающего устройства между кузовом и тележкой, описание и работа которого представлена в патентах авторов [22, 23, 24]. Эффективность данного решения подтверждается повышением коэффициента использования сцепного веса на 6,8%. Так как вертикальные нагрузки от колесных пар на рельсы изменяются в процессе эксплуатации, то усилие догружающего устройства должно изменяться в пределах 2% для локомотивов типа ТЭМ103 и в пределах 6% – для локомотивов типа 2ТЭ116.

Литература

1. Коняев А.Н. Пути улучшения тяговых качеств тепловозов 2ТЭ10Л / А.Н. Коняев, И.К. Спирыгин // Сб. «Локомотивостроение», – 1971. – Вып. 3. – С. 19 – 24.
2. Горбунов Н.И., Кравченко Е.А., Попов С.В. Результаты исследований тяговых качеств маневрового тепловоза. Труды международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса: образование, наук, производство», Ростов-на-Дону, 2009. – С. 42 – 43.
3. Голубенко А.Л. Улучшение тяговых свойств тепловозов совершенствованием механических узлов экипажа, влияющих на сцепление колес с рельсами: дис. ... д. т. н.: 05.22.07 / А.Л. Голубенко. – М.: – 1986. – 588 с.
4. Горбунов Н.И. Повышение тяговых качеств тепловозов за счет совершенствования упругих связей тележек: дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / Н.И. Горбунов. – Ворошиловград: – 1987. – 269 с.
5. Коняев А.Н. Исследования тяговых свойств и экономичности тепловозов большой секционной мощности с целью их улучшения: автореф. дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / А.Н. Коняев. – Москва: – 1972. – 29 с.
6. Горобченко О.М. Удосконалення тягових характеристик локомотивів шляхом підвищення коефіцієнта використання зчпної маси: автореф. дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / О.М. Горобченко. – Харків: – 2007. – 17 с.
7. Иванов В.Н. Повышение коэффициента использования сцепного веса тепловоза / В.Н. Иванов, А.И. Беляев, Э.С. Оганьян // Вестник ВНИИЖТ. – 1979. – N 7. – С. 13 – 17.
8. Тасанг Э.Х. Тягово-сцепные свойства локомотива / Э.Х. Тасанг, В.В. Яковенко, Е.Н. Шафран // Вісник СДУ. Науковий журнал. – Луганск: СДУ, 2000. – №7(29) – С. 36 – 39.
9. Горбунов Н.И. Пути решения проблемы повышения тяговых качеств локомотивов / Н.И. Горбунов, А.Л. Кашура, С.В. Попов, Е.А. Кравченко, А.И. Фесенко // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотивинформ». – 2008, №5. – С. 8 – 11..
10. Кравченко К.О. Обґрунтування резервів підвищення тягових якостей локомотива та їх реалізація керуванням ковзання в системі колеса з рейкою: автореф. дис. ... к. т. н.: 05.22.07 – Луганск: – 2010. – 23 с.
11. Gorbunov N. Efficiency function for evaluation of the locomotive traction and adhesion qualities / N. Gorbunov, A. Kostyukevich, K. Kravchenko // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture V. X, Poland 2010. – p. 80 – 86.
12. Евстратов А.С. Экипажные части тепловозов / А.С. Евстратов – М.: Машиностроение, 1987. – 136 с.
13. Львов Н.В. Влияние некоторых параметров механической части ЭПС на реализацию силы тяги: дис. ... к. т. н.: 05.22.07 / Н.В. Львов. – М., 1979. – 154 с.
14. Бирюков И.В. Механическая часть тягового подвижного состава: Учебник для вузов ж.-д. трансп / И.В. Бирюков, А.Н. Савоськин, Г.П. Бурчак и др. – М. Транспорт, 1992. – 440 с.
15. Минов Д.К. Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электрической передачей / Д.К. Минов. – М.: Транспорт, 1965. – 26 с.
16. Евдокимов Ю.А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю.А. Евдокимов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин – М.: Наука, 1980. – 228 с.
17. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Макова, Ю.В. Грановский. – М.: Изд-во Наука, 1971. – 283 с.
18. Горбунов Н.И. Прогнозирование тягово-тормозных качеств локомотивов / Н.И. Горбунов, Е.А. Кравченко, С.В. Попов, М.А. Крысанов, М.В. Ковтанец, А.И. Фесенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2009. – №11(141). – С. 159 – 163.
19. Кадомская К.П. Методы обработки экспериментальных результатов и планирование эксперимента / К.П. Кадомская // Учебное пособие. – Новосибирск: изд-во НГТУ, 2002. – 72 с.
20. Свідозтво про реєстрацію авторського права на твір №31722. Комп'ютерна програма «Планування експерименту для залізничного транспорту» / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, М.А. Крисанов. – дата реєстрації 21.01.2010..
21. Пожидаев В.Ф. Теорія ймовірностей, математична статистика, випадкові процеси та елементи теорії інформації: Навчальний посібник / Укл.: В.Ф. Пожидаев, Г.В. Скринникова. – Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2006. – 408 с.
22. Декларацийний патент на корисну модель, № 37890, В61С 15/00. / М.І. Горбунов, О.Л. Кашура, К.О. Кравченко, С.В. Попов, М.В. Ковтанец, К.В. Голембієвський – № u200809530, заявл. 21.07.08, опуб. 10.12.2008, бюл. № 23. – 4 с..
23. Декларацийний патент на корисну модель № 41434, кл. В61С 15/00 / М.І. Горбунов, К.О. Кравченко, С.В. Попов, А.І. Фесенко, С.Г. Грищенко, В.І. Нестеренко, В.О. Левандовський – №u200814027; заявл. 05.12.2008; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10 – 6 с.

24. Патент на винахід, №87915, кл. В61С 15/00. Довантажуючий пристрій / М.І. Горбунов, О.Л. Кашура, К.О. Кравченко, С.В. Попов, В.О. Догадін, Є.М. Богопольський, Ю.Ю. Осенін. – № а200713628, заявл. 06.12.2007 р., опубл. 25.08.2009, бюл. № 16. – 4 с.

У статті розглянуто питання перерозподілу навантажень від колісних пар на рейки в режимі реалізації тягових зусиль. На основі використання теорія планування експерименту отримані залежності, що показують вплив експлуатаційних факторів на коефіцієнт використання зчпного ваги. Запропоновано рішення з регулювання зусилля довантажувального пристрою в процесі експлуатації з урахуванням отриманих залежностей.

Ключові слова: коефіцієнт використання зчпної ваги, теорія планування експерименту, тягові якості, перерозподіл вертикальних навантажень від колісних пар на рейки, кореляція.

In the article the question of redistribution of loads of wheel sets on the rails in the mode of implementation of traction. Using the theory of experimental dependences showing the effects of operational factors on the efficiency of coupling weight. A solution to add to the load force control devices during the operation in light of the dependencies.

Keywords: coefficient of adhesion weight, the theory of experimental design, traction qualities, the redistribution of vertical loads from the wheel set on the rails, correlation.

Кравченко Е.А. – канд.тех.наук, доцент кафедри організації перевозок и управління на залізничному транспорті, ВНУ ім. В.Даля

Рецензент - Горбунов Н.И. докт.техн.наук., профессор ВНУ ім. В.Даля