

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СИЛ ПРИ ЗАКРЕПЛЕНИИ ВАГОНОВ ТОРМОЗНЫМИ БАШМАКАМИ

О. С. ЧАГАНОВА, М. Ю. СТРАДОМСКИЙ, О. В. ДЕМЬЯНЧУК
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Одним из важнейших вопросов, связанным с безопасностью движения поездов на железнодорожном транспорте, является обеспечение надежного закрепления подвижного состава для предотвращения его самопроизвольного выхода со станционных путей. В настоящее время закрепление вагонов в сортировочном парке и торможение вагонов на горках малой мощности осуществляется с помощью тормозных башмаков, которые обеспечивают торможение за счет замены трения качения колеса по рельсу трением скольжения полоза башмака и другого неподбашмаченного колеса по рельсам. Анализ современных исследований по креплению железнодорожных составов на станционных путях выявил, что данный вопрос актуален из-за несовершенства существующих нормативных документов.

В течение периода времени с августа 2017 по ноябрь 2019 года на станции Орша Центральная был проведен ряд экспериментов по определению влияния различных факторов на усилия, возникающие при закреплении подвижного состава тормозными башмаками, предназначенными для предотвращения самопроизвольного ухода вагонов. Все рассмотренные в ходе экспериментов составы устанавливались на путях с одинаковыми уклонами. Эксперименты проводились при разных погодных условиях и в разные сезоны года. Были рассмотрены варианты с различными числом вагонов в составах поездов, их осевой нагрузкой, состояниями рельсов при разном числе используемых башмаков.

На основании экспериментальных данных о значениях сил, возникающих при креплении железнодорожных составов с помощью тормозных башмаков на станционных путях, и методики, описанной в [1], для построения многофакторной регрессионной модели был выбран предварительный перечень параметров, потенциально влияющих на способность тормозных башмаков удерживать состав. В их число вошли: время года (T), в течение которого проводилось данное испытание, скорость ветра ($v_{вет}$, м/с), наличие атмосферных осадков и замасленность рельсов (O_c), температура воздуха ($t_{возд}$), общая масса поезда ($Q_{брутто}$, т), отношение массы груза к массе поезда ($Q_{нетто} / Q_{брутто}$), длина поезда ($m_{усл}$), количество вагонов в поезде (m), количество тормозных башмаков ($n_{баш}$), сила сжатия поезда (P , тс). В качестве выходного параметра на начальном этапе статистической обработки принято отношение сжатия поезда к числу тормозных башмаков ($P / n_{баш}$), использованных для удержания состава на пути.

При построении многофакторной регрессионной модели рассмотрено взаимное влияние входящих в нее факторов. В модели выявлены взаимосвязанные составляющие для исключения искажения результатов моделирования в результате дублирования их влияния на функцию отклика. Были определены факторы, имеющие высокую степень взаимной корреляции между собой. Высокой принято считать корреляцию, характеризующуюся коэффициентом $r > 0,75$ [1, 2]. Анализ результатов расчета показал, что в рассматриваемом перечне факторов наибольшую степень корреляции с принятой функцией отклика $P / n_{баш}$ имеют факторы P , T , $t_{возд}$, а наименьшее – $v_{вет}$. Между собой в наибольшей степени коррелированы факторы: количество вагонов поезда и длина поезда ($r(m; m_{усл}) = 0,929522$), время года и температура воздуха ($r(T; t_{возд}) = 0,881978$).

В соответствии с описанными выше рекомендациями из числа факторов исключены $m_{усл}$ и T , так как они обладают меньшим коэффициентом корреляции с функцией отклика $P / n_{баш}$, чем факторы m и $t_{возд}$ соответственно.

В дальнейших исследованиях были использованы следующие параметры: P ($r = 0,585979$), $t_{возд}$ ($r = 0,205268$), O_c ($r = -0,068329$), $Q_{брутто}$ ($r = -0,046866$), m ($r = -0,027913$), $n_{баш}$ ($r = 0,017992$), $Q_{нетто} / Q_{брутто}$ ($r = -0,015978$), $v_{вет}$ ($r = -0,013049$), для большинства которых коэффициент корреляции по сравнению с зависимой переменной оказался значительно меньше 0,75. При построении многофакторной регрессионной модели сочетание параметров и их влияние друг на друга могут дать улучшение коэффициента корреляции.

Далее были построены однофакторные модели, которые позволили оценить рассматриваемые параметры по степени их влияния на отношение силы сжатия поезда к числу тормозных башмаков. Значимость однофакторных моделей определялась на основании полученных зависимостей и коэффициента множественной корреляции [3], который определялся по формуле

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}, \quad (1)$$

где SSR – сумма квадратов, соответствующая уравнению регрессии; SST – полная сумма квадратов.

Для оценки доли общего разброса, которая объясняется построенной регрессией, используется коэффициент детерминации \bar{R}^2 , который определялся по формуле

$$\bar{R}^2 = 1 - \frac{n-1}{n-q-1}(1-R^2). \quad (2)$$

Для оценки адекватности регрессионной модели используется F -критерий, который определяет отношение дисперсии оценки модели к дисперсии остатка:

$$F = \frac{SSR/q}{SSE/(n-q-1)}, \quad (3)$$

где SSE – сумма квадратов остатков, которая равна разности между числом различных опытов и числом констант, найденных по этим опытам независимо друг от друга [3].

Результаты расчета указанных выше параметров при определении удерживающей силы приходящейся на один башмак показали, что полученная степень взаимной корреляции между усредненным отношением силы сжатия поезда к числу башмаков, является недостаточной при учете всех влияющих параметров многофакторной модели. Значения коэффициента детерминации при добавлении влияющих параметров изменяются от $R^2 = 0,329$ до $R^2 = 0,484$, а величина отношения дисперсии оценки модели к дисперсии остатка – от $F = 166,9872$ до $F = 39,031$. В связи с этим сделан вывод о нецелесообразности использования данного показателя в качестве функции отклика при построении многофакторной модели.

Расчеты сдвигающей силы, в соответствии с методикой, описанной в [4], показали, что при разработке норм крепления следует отталкиваться от значения равнодействующей сил тяжести и сил сопротивления движению поезда. Проведен расчетно-статистический анализ экспериментальных результатов по креплению составов различной длины и массы на станционных путях. В результате моделирования размещения составов на разных расстояниях от выходного светофора установлено, что при длине состава, меньшей 40 вагонов, смещение состава на 25–30 метров может приводить к изменению потребной тормозной силы в 2–3 раза. Если состав включает 40 вагонов и более, такие перепады сил отсутствуют, следовательно расчет сдвигающей силы можно вести по среднему уклону.

Таким образом, подтверждено, что максимальные величины сил, способствующих уходу вагонов, которые могут возникнуть на путях размещения составов, определяются главным образом массой удерживаемого поезда и продольным профилем железнодорожного пути, на котором размещен состав поезда. Дальнейший анализ показал, что значение удерживающей силы зависит от веса вагона, под который установлен башмак. При установке башмаков под более тяжелые вагоны их потребное количество может быть уменьшено. Выполненный анализ позволил установить пути возможного совершенствования правил крепления составов поездов тормозными башмаками.

Список литературы

- 1 Френкель, С. Я. Многофакторная модель расхода энергоресурсов в пассажирском движении / С. Я. Френкель, А. П. Дединкин, Р. К. Гизатуллин // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2011. – № 1 (22). – С. 103–106.
- 2 Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
- 3 Стукач, О. В. Программный комплекс Statistica в решении задач управления качеством : учеб. пособие / О. В. Стукач. – Томск : Томск. политехн. ун-т, 2011. – 163 с.
- 4 Shimanovsky, A. O. Investigation of the longitudinal track profile influence on the forces acting in the train inter-car connections using the MSC.ADAMS software / A. O. Shimanovsky, P. Sakharau // CEUR Workshop Proceedings. – 2019. – Vol. 2353. – P. 555–569.