

ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИННОВАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

А. В. Семенов, А. В. Габец

Рассмотрены вопросы формирования рабочей гипотезы инновационного улучшения эксплуатационных свойств фрикционного клина тележки грузового вагона на основе разработки нового материала. Для этого на конкретном наборе экспериментальных данных продемонстрировано применение графических методов разведочного анализа данных, а именно методов визуализации данных. Результаты визуального анализа предложенной модели технического состояния фрикционного клина в пространстве параметров позволили обосновать выбор цели проведения научных исследований.

Ключевые слова: инновационный вагон, фрикционный клин, техническое состояние клина, визуализация экспериментальных данных, поверхность тренда параметра работоспособности клина, цель исследований по улучшению эксплуатационных свойств клина.

В «Перечне конструктивных элементов грузового вагона нового поколения», разработанных в НП «ОПЖТ», установлены повышенные требования к литым деталям. В частности, ходовая часть инновационного вагона должна обеспечивать пробег между деповскими ремонтами не менее 250 000 км [1]. В то же время, фрикционные клинья узла гашителя колебаний тележки у современного грузового вагона рассчитаны на гораздо меньший ресурс. Это обусловлено тем, что более 80 % из них отливается из серого чугуна марки СЧ25, который не обеспечивает достаточную износостойкость под действием возникающих сил трения. Все вышесказанное, согласно [2], является обоснованием для выполнения инновационного улучшения эксплуатационных свойств фрикционного клина на основе разработки нового материала для его отливки.

Формирование инновационной идеи нового материала, согласно [3], первоначально предполагает выдвижение гипотезы, которая предполагает собой научное предположение для объяснения проводимых улучшений и требующее их проверки на опыте и технического обоснования. Источником новых знаний при этом являются научные исследования. Целью их выполнения, с учетом определения в [4], является соответствующий рабочей гипотезе доказуемый или желаемый результат в виде определенной характеристики, которую необходимо достигнуть по окончании инновационного проекта.

Охарактеризуем состояние фрикционного клина в процессе эксплуатации (рисунок 1).



Рисунок 1 – Фрагмент фрикционного узла гашения колебаний тележки грузового вагона

Если рассматривать клин как сплошное тело, то его работоспособность в процессе эксплуатации оценивается величиной завышения/занижения клина относительно нижней поверхности надрессорной балки δ . Значение параметра δ зависит от величины износа наклонной и вертикальной стенок клина. На величину износа стенок влияют параметры двух типов: 1) параметры, присущие непосредственно клину, которые являются проявлением физико-механических свойств используемого материала, а именно твердостью отливки; 2) параметры, обусловленные влиянием внешней среды (условиями эксплуатации), которые в зависимости от величины межремонтного пробега вагона, влияют на величину износа клина в образуемых парах трения. Та-

ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИННОВАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

ким образом, на этапе инициализации можно выделить две основных гипотезы проведения инноваций: разработка материала клина с повышенной твердостью и разработка материала клина с повышенной износостойкостью, оцениваемой по величине межремонтного пробега.

Для формирования исследовательской базы в 33 депо во время проведения деповского ремонта грузовых вагонов были собраны экспериментальные данные о техническом состоянии более 25 000 клиньев. Для каждого экземпляра клина физически измерения проводились по 11 параметрам:

После агрегирования экспериментальных данных, выбора шкал для измеряемых параметров (преобразование данных к стандартному виду не применялось), а также фильтрации аномальных выбросов измерений, была сформирована матрица экспериментальных данных

$$\mathbf{Z} = \begin{pmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ \dots & \dots & \dots \\ z_{n1} & z_{n2} & z_{n3} \end{pmatrix},$$

где элементы z_{ij} представляют собой значения Z_j –го параметра: ($j=1\div 3$) для i -го экземпляра, прошедшего диагностику клина ($i=1\div 20\,755$). Состав параметров, описывающих техническое состояние клина, следующий:

Z_1 – суммарный износ наклонной и вертикальной стенок, мм;

Z_2 – пробег вагона от предыдущего планового вида ремонта, тыс. км;

Z_3 – средняя суммарная остаточная твердость клина, НВ.

Основной задачей анализа экспериментальных данных является установление наличия и характера зависимости параметра Z_1 от параметров Z_2 и Z_3 . Это может быть выполнено помощью методов статистических исследований [5]. Однако, вычисленные значения коэффициентов парной корреляции между зависимым параметром Z_1 и независимыми параметрами Z_2 и Z_3 , свидетельствуют об отсутствии между ними корреляционной связи. Результаты выполненного регрессионного анализа также не прошли проверку статистической достоверности.

Следует отметить, что на результативность применения математических методов

статистического анализа сильное влияние оказывает достоверность используемых данных. В то же время, результаты технической диагностики фрикционных клиньев, полученные в различных депо, характеризуются значительным количеством ошибок, возникших на этапе измерения значений параметров, их регистрации и машинного ввода. Кроме того, для получения выводов кроме матрицы экспериментальных данных об объекте исследования больше нет никакой априорной информации.

В подобной ситуации применимы методы разведочного анализа данных и, в частности, графические методы визуализации данных [6, 7]. При этом их использование направлено не на определение многомерных зависимостей между параметрами, а, прежде всего, ориентировано на формирование по отношению к ним рабочих гипотез и надежных прогнозов.

В качестве модели для анализа исходных экспериментальных данных (рисунок 2) предлагается использовать трехмерную параметризованную поверхность.

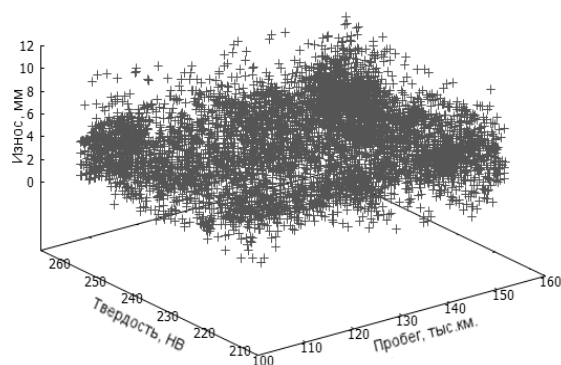


Рисунок 2 – Облако точек – состояний фрикционного клина в пространстве параметров

Для аппроксимации экспериментальных данных поверхностью предлагается использовать метод ABOS (**A**pproximation **B**ased **O**n **S**moothering – Аппроксимация на основе сглаживания) [8, 9]. Данный метод не использует решения систем уравнений и алгоритмы поиска при обработке даже очень большого количества исходных данных. Также в нем отсутствуют сложные аналитические расчеты, связанные с проверкой обеспечения наилучшей гладкости или выполнения требования минимальной кривизны результирующей поверхности. Вместо этого для создания практически любой поверхности в нем используются численные методы «натяжения» и сгла-

живания. На рисунке 3 наиболее детально показана построенная с его помощью поверхность, аппроксимирующая всю совокупность экспериментальных данных по клину.

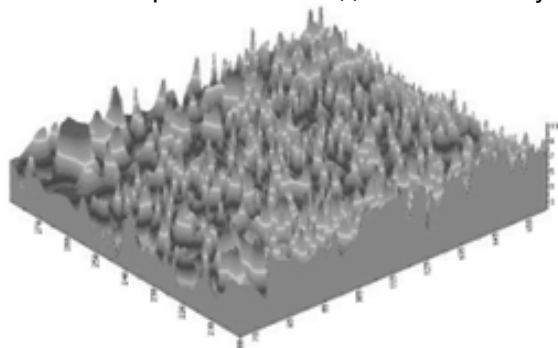


Рисунок 3 – Поверхность аппроксимирующая экспериментальные данные

Для установления общих тенденций распространения аппроксимирующей поверхности в пространстве параметров построим поверхность тренда. Первоначально создается ее исходное представление, показанное на рисунке 4.

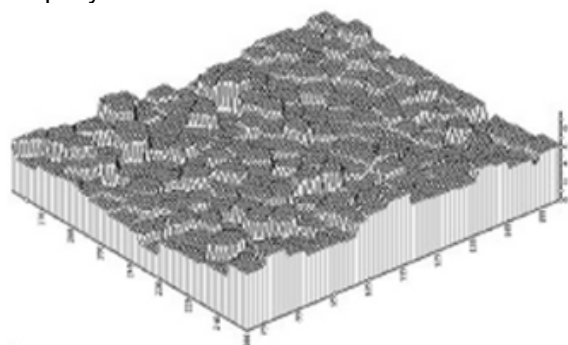


Рисунок 4 – Первоначальное состояние поверхности тренда

После неоднократного выполнения итерационного цикла “натяжения” и сглаживания подробное представление поверхности тренда примет вид, показанный на рисунке 5.

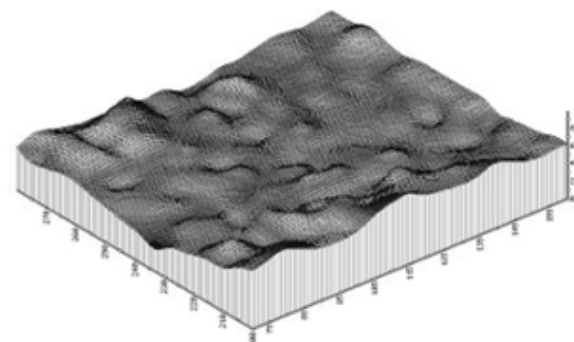


Рисунок 5 – Окончателное состояние поверхности тренда

Для более выраженного отображения имеющихся тенденций в анализируемых данных выполним визуализацию поверхности тренда с наименьшей детализацией, результат которой показан на рисунке 6.

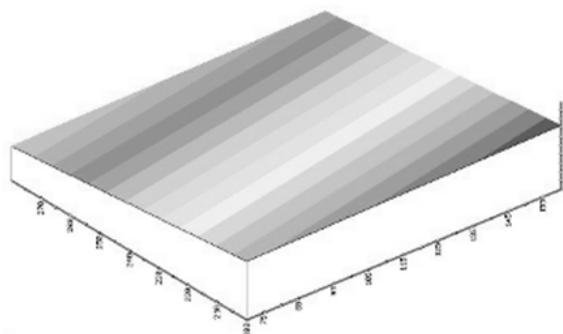


Рисунок 6 – Обобщенная поверхность тренда

Полученный результат можно проверить, сравнив полученную поверхность с аппроксимирующей поверхностью, построенной методом наименьших квадратов. При его применении к экспериментальным данным было получено следующее эмпирическое выражение

$$Z_1 = 8,68517 + 0,00655 \times Z_2 - 0.019159 \times Z_3.$$

Соответствующая данному уравнению плоскость в пространстве параметров показана на рисунке 7. По рисунку видно, что общая тенденция распространения аппроксимирующей поверхности подтвердилась.

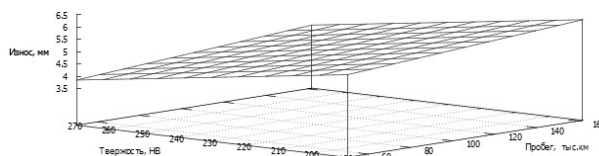


Рисунок 7 – Аппроксимирующая плоскость, полученная методом наименьших квадратов

Геометрическое моделирование экспериментальных данных методом ABOS позволяет описать все зафиксированные состояния фрикционного клина одной аппроксимирующей поверхностью. При этом используемый метод аппроксимации множества нерегулярных точек гладкой поверхностью не накладывает ограничений на их количество. Все данные учитываются в модели почти с исходной точностью (погрешность привносится процедурой линеаризации). Кроме того, построенная модель обеспечивает решение задачи

ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИННОВАЦИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

интерполяции (оценки, прогноза), используя алгоритм билинейной интерполяции по близлежащим узловым точкам поверхности.

Применение в качестве модели технического состояния фрикционного клина в процессе эксплуатации трехмерной параметризованной поверхности значительно увеличивает аналитические возможности исследователя. Визуально оценивая одновременно всю совокупность экспериментальных данных легче оценить характер их распределения в модельном пространстве, выявить имеющиеся тенденции, тренды и выбросы. Управление визуализацией позволяет выполнять масштабирование, изменять разрешение, манипулировать моделью в трехмерном пространстве. Координаты любой точки модели могут быть измерены. Локальные тенденции, имеющиеся в экспериментальных данных, можно исследовать, используя произвольные сечения аппроксимирующей поверхности вертикальной плоскостью. Для анализа данных имеется возможность использовать карты линий уровня и цветовые карты.

ВЫВОДЫ.

Анализ обобщенной поверхности тренда параметра, определяющего работоспособности фрикционного клина Z_1 , позволяет сделать следующие выводы.

Характер распространения поверхности в пространстве состояний свидетельствует об устойчивой преобладающей тенденции к снижению суммарного износа наклонной и вертикальной стенок фрикционного клина при увеличении твердости материала его отливки. Таким образом, научные исследования следует произвести с целью разработки нового материала, обладающего повышенной твердостью. Полученные результаты в дальнейшем следует использовать в качестве содержания инновационной идеи.

Во всем диапазоне варьирования средней суммарной остаточной твердости клина износ его рабочих стенок характеризуется умеренным увеличением в течение всего межремонтного пробега вагона. Поэтому к трибологическим аспектам нового материала

следует подходить по прежнему в рамках действующих нормативных требований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савчук, В. Б. Поддержка грузового вагоностроения – одна из актуальных задач промышленной политики / В. Б. Савчук, И. А. Скок. // Техника железных дорог. – №1. – 2013. – С.43–47.
2. Сергеев, В. А. Основы инновационного проектирования : учебное пособие / В. А. Сергеев, Е. В. Кипчарская, Д. К. Подымало; под редакцией д-ра техн. наук В. А. Сергеева. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 246 с.
3. Вертакова, Ю. В. Управление инновациями: теория и практика : учеб. пособие/ Ю. В. Вертакова, Е. С. Симоненко. – М. : Эксмо, 2008. – 432 с.
4. Ильенкова, С. Д. Управление инновационным проектом : учебно-методический комплекс / под ред. проф. С. Ю. Ягудина. – М. : Изд. центр ЕАОИ, 2009. – 182 с.
5. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: исследование зависимостей / С. А. Айвазян. – М. : Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
6. Барсебян, А. А. Технология анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP / А. А. Барсебян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко, И. И. Холод. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб. : БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.
7. Зиновьев, А. Ю. Визуализация многомерных данных. – Издательство Красноярского государственного технического университета, 2000. – 180 с. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.ihs.fr/~zinovyev/papers/ZinovyevBook.pdf> (дата обращения: 15.11.2013).
8. M. Dressler. Art of Surface Interpolation. Kunststat, 2009. -80 p. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://m.dressler.sweb.cz/AOSIM.pdf>. (дата обращения: 15.11.2013).
9. M. Dressler. Approximatio/interpolation of surfaces based on numerical tensioning and smoothing. Систем. требования: Adobe Acrobat Reader. URL: <http://www.sweb.cz/M.Dressler/ABOS.htm> (дата обращения: 15.11.2013).

Семенов А. В., к.т.н., директор АлтКЦНИТ Россия, Алтайский край, г. Барнаул, ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова», E-mail: alsem@altrrc.ru; **Габец А. В.**, директор по развитию ООО «СибТрансМаш» г. Барнаул, E-mail: gabeca@mail.ru;