

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Направление – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

<https://doi.org/10.17816/transsyst660876>

© В.В. Штанке, В.А. Соломин, А.В. Соломин

Ростовский государственный университет путей сообщения
(Ростов-на-Дону, Россия)

СИСТЕМА СЧЕТА И ДИАГНОСТИКИ КОЛЕСНЫХ ПАР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Обоснование. Модернизация систем счета и диагностики колесных пар при высоких скоростях движения.

Цель. Повышение точности и качества диагностики колесных пар.

Материалы и методы. Предлагается сочетание новых конструкций магнитоиндукционного датчика Штанке с микропроцессорным блоком формирования сигналов. Используются методы математического моделирования при помощи рядов Фурье и дельта-функции Дирака.

Результаты. Программные алгоритмы для счета и оценки технического состояния колесных пар подвижного состава при высоких скоростях движения.

Заключение. Новая система счета и оценки технического состояния колесных пар повышает качество диагностики при высоких скоростях движения подвижного состава.

Ключевые слова: магнитоиндукционный датчик; блок формирования сигнала; колесная пара; математическое моделирование; программные алгоритмы диагностики.

Как цитировать:

Штанке В.В., Соломин В.А., Соломин А.В. Система счета и диагностики колесных пар железнодорожного подвижного состава // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11. № 1. С. 78–97. doi: 10.17816/transsyst660876

Section 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL RESEARCH

Subject – Rolling stock of railways, train traction and electrification

© V.V. Shtanke, V.A. Solomin, A.V. Solomin

Rostov State Transport University

(Rostov-on-Don, Russia)

COUNTING AND DIAGNOSTICS SYSTEM FOR WHEELSETS OF RAILWAY ROLLING STOCK

Background. Upgrade of wheelsets counting and diagnostic systems at high speeds.

Aim. Improvement of precision and quality of wheelsets diagnostics.

Materials and Methods. A combination of new designs of the Shtanke magnetoinduction sensor with a microprocessor signal generation unit is proposed. The work employed mathematical modeling using Fourier series and delta-Dirac function.

Results. Software algorithms for calculating and assessing the mechanical condition of wheelsets of rolling stock at high speeds are developed.

Conclusion. A new system for counting and assessing the mechanical condition of wheelsets improves the quality of diagnostics of rolling stock at high speeds.

Keywords: magnetoinduction sensor; signal generation unit; wheelset; mathematical modeling; software diagnostics algorithms.

To cite this article:

Shtanke VV, Solomin VA, Solomin AV. Counting and diagnostics system for wheelsets of railway rolling stock. *Modern Transportation Systems and Technologies*. 2025;11(1):78–97. doi: 10.17816/transsyst660876

ВВЕДЕНИЕ

На нынешнем этапе развития железнодорожного транспорта актуальны задачи разработки и внедрения единой системы управления движением поездов на высокоскоростных магистральных железных дорогах, основанной на цифровых и микропроцессорных технологиях. В этой системе управления значительную роль играют методы технической диагностики подвижного состава, включающие путевые магнитоиндукционные датчики, определяющие скорость движения, и количество осей колесных пар. Подобные устройства применяются на высокоскоростных магистралях Европы: например, путевые датчики типа RSR180, RSR123 производства компании Frauscher Sensortechnik [1] генерируют аналоговый сигнал с прямоугольными импульсами различной амплитуды для счета осей подвижного состава, что позволяет обнаруживать и проход колес с дефектами гребня. Микропроцессорный преобразователь системы счета осей ACS2000 с интеллектуальным решающим устройством определяет диаметр колеса, скорость прохода состава, фиксирует центр колеса над датчиком.

Зарубежные системы счета осей колесных пар предполагают размещение датчиков над головкой рельса, что усложняет их конструкцию и увеличивает влияние вибрации на качество их сигналов, требует частой их переналадки (калибровки), что снижает надежность их работы и повышает эксплуатационные расходы. Работа подобных систем становится невозможной в условиях Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера из-за большого количества снега и наледей на железнодорожном полотне.

Опыт эксплуатации магнитоиндукционных датчиков в системах мониторинга подвижного состава показал, что данное оборудование, в отличие от зарубежных аналогов, полностью адаптировано к работе в России. Отечественные магнитоиндукционные датчики ДМ12, ШМП12 располагаются под головкой рельса, и их исполнение соответствует стандарту УХЛ1 по ГОСТ 15150-69. В конструкциях этих датчиков предусмотрен обогрев крышек, что исключает напрессовку льда и обеспечивает возможность их эксплуатации в условиях Крайнего Севера. К достоинствам данных магнитоиндукционных путевых датчиков можно отнести отсутствие потребности в электропитании, простоту эксплуатации и обслуживания, вследствие чего они давно и практически повсеместно используются даже при наличии мощных электромагнитных помех.

Магнитоиндукционные датчики счета осей колесных пар разработки научно-внедренческого центра «Безопасность транспорта» (НВЦ БТ) на базе Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС) успешно эксплуатируются на железных дорогах нашей страны более 20 лет. Новым этапом работы над ними стала разработка технологии передачи и обработки сигналов усовершенствованных магнитоиндукционных датчиков микропроцессорным устройством на основе цифровых технологий.

В статье представлен метод цифровой обработки сигналов магнитоиндукционных датчиков микропроцессорным устройством блока формирования сигнала (БФС), разработанным в НВЦ БТ. Анализ сигналов аппаратно-программным комплексом отражает реальную картину состояния профиля колесных пар проходящего состава, скорости прохода каждой колесной пары и всего железнодорожного состава, указывает место установки датчика, дату и время прохода поезда. Микропроцессорные технологии обеспечивают минимальную погрешность, высокую точность в оценке параметров модулированных аналоговых сигналов, поступающих от магнитоиндукционных датчиков, достоверность выходных результатов, значительную помехоустойчивость и функциональную гибкость программно-аппаратной реализации, что открывает новые возможности используемого диагностического оборудования при высоких скоростях движения.

Для развития экономики России важны рост и интенсивность грузовых перевозок, что требует значительных вложений, строительства новых железных дорог. В будущем эти инвестиции позволят реализовать проект «Евразия ВСМ», предусматривающий строительство евразийской высокоскоростной магистрали из Китая в Европу через Россию, призванной объединить две основные транспортные системы: транзитную грузовую и китайскую высокоскоростную пассажирскую магистраль [2].

В условиях высокоскоростного движения встает вопрос об автоматизации процесса определения занятости пути и диагностики состояния колесных пар грузового поезда во время движения. Решение указанного вопроса может быть осуществлено только на основе современной микропроцессорной техники, позволяющей повысить эффективность принятия решений в соответствии с эксплуатационными потребностями и обеспечить безопасность железнодорожного транспорта [3]. Наиболее надежными системами контроля профиля гребней колесных пар подвижного состава, скорости состава, счета прошедших

колесных пар являются системы магнитоиндукционных датчиков, устанавливаемых на подошве рельса [3, 4]. Основными преимуществами магнитоиндукционных датчиков по сравнению с оптическими и лазерными являются высокая надежность работы в сложных погодных условиях и низкие энергетические и эксплуатационные затраты. Для широкого внедрения технологии мониторинга профиля колесных пар с использованием магнитоиндукционных датчиков на железнодорожном транспорте перед НВЦ БТ РГУПС стояла задача разработки блока формирования сигнала с программой анализа и цифровой обработки сигнала классификации дефектов колесных пар в режиме реального времени [5]. Для разработки БФС в НВЦ БТ был проведен математический анализ полученных сигналов в системе МАТЛАБ. Исследование позволило классифицировать дефекты колес и перекосы тележек, а также разработать методы диагностирования технического состояния колесных пар и тележек железнодорожных вагонов. На основании проведенных исследований был получен патент [6].

Методика предлагаемого в настоящей работе исследования основана на анализе модулируемого магнитоиндукционным датчиком аналогового сигнала, принимаемого микропроцессорным блоком в течение короткого периода, поскольку измерения проводятся в режиме реального времени. Для изучения сигналов, модулируемых датчиком с последующим преобразованием аналоговых сигналов в цифровые и дальнейшей их обработкой, проанализированы получаемые сигналы при проходе колесной пары без изъянов гребня колеса и при моделировании различных изъянов (дефектов).

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВОГО СИГНАЛА МАГНИТОИНДУКЦИОННОГО ДАТЧИКА

Сигнал, поступающий от магнитоиндукционного датчика при проходе колесной пары тележки железнодорожного состава над магнитоиндукционным датчиком (Рис. 1), характеризует прохождение колеса без изъянов.

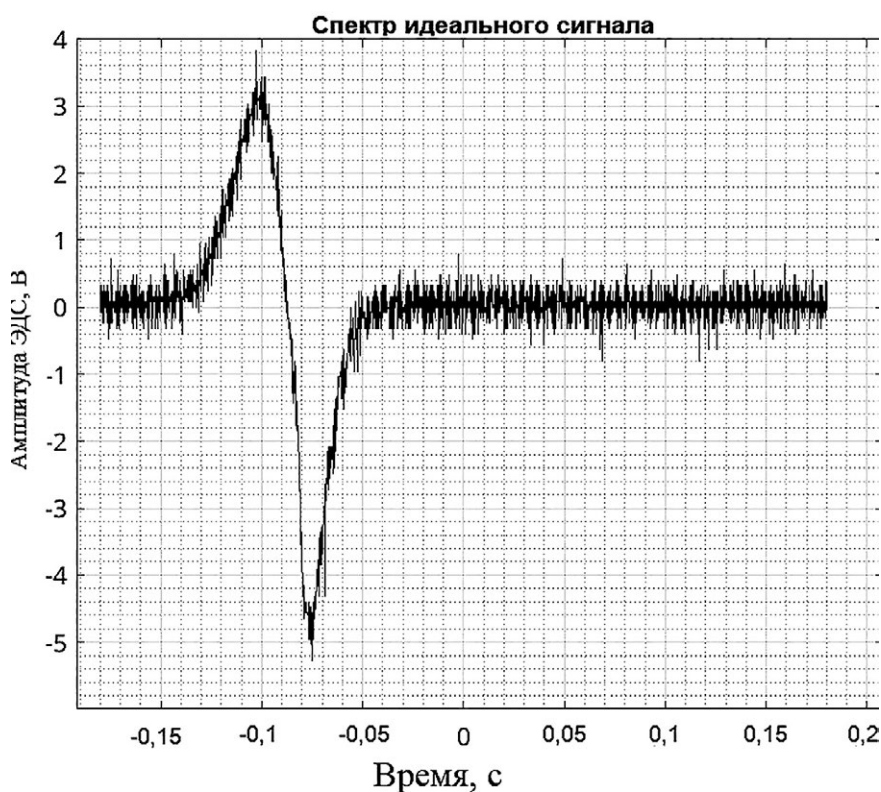


Рис. 1. Сигнал датчика ШМП12 (колесо без изъянов)

Fig. 1. Signal of the SHMP12 sensor (wheel without flaws)

Способ получения выборки дискретных значений аналогового сигнала $s(t)$ заключается в генерировании магнитоиндукционным датчиком эквидистантных стробирующих импульсов (1) [7, 8] в небольшой области точек $t = nT$, в результате чего возникают короткие выборки сигнала длительностью τ , отобранные с интервалом выборки T :

$$\sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \frac{1}{\tau} \Pi_{\tau}(t - nT). \quad (1)$$

Оценка дискретного сигнала может быть представлена в виде:

$$s(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \frac{1}{\tau} \Pi_{\tau}(t - nT), \quad (2)$$

где Π_{τ} – прямоугольный импульс длительности τ единичной амплитуды.

При конечной величине τ можно говорить об оценке значения сигнала в момент времени $t_n = nT$ с некоторой погрешностью ввиду изменения сигнала $s(t)$ на интервале τ . При изменении длительности τ

погрешность оценки будет уменьшаться, и в пределе дискретный сигнал будет иметь вид:

$$\begin{aligned} s_{\text{д}}(t) &= \lim_{\tau \rightarrow 0} s(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \frac{1}{\tau} \Pi_{\tau}(t - nT) = \\ &= s(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{1}{\tau} \Pi_{\tau}(t - nT) = s(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \delta(t - nT), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\delta(t - nT)$ – смещенная на nT дельта-функция Дирака; T – временной интервал следования дельта-функции.

В результате математического моделирования формируемого дискретного сигнала датчика получено соотношение в виде произведения исходного аналогового сигнала на бесконечную сумму смещенных дельта-функций Дирака:

$$s_{\text{д}}(t) = s(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \delta(t - nT). \quad (4)$$

Для получения численных значений $s_{\text{д}}(t)$ дискретный сигнал необходимо проинтегрировать в пределах $t_n = nT$:

$$s_{\text{д}}(t_n) = \int_{nT-\varepsilon}^{nT+\varepsilon} s(t) \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} \delta(t - nT) dt, \quad (5)$$

где $\varepsilon < T$ – конечный интервал интегрирования дискретного сигнала в окрестностях $t_n = nT$.

Данная модель дискретного сигнала (Рис. 2) используется для перехода от аналоговых сигналов к цифровым.

Процедуры цифровой обработки данных обеспечивают минимальную погрешность, высокую точность выходных данных, учет влияния помех и функциональную гибкость программно-аппаратной (микропроцессорной) реализации.

Основными функциями представленной разработки НВЦ БТ РГУПС являются прием сигнала, поступающего от магнитоиндукционного датчика счета осей на микропроцессорное устройство аналого-цифрового преобразования (блок формирования и передачи сигнала), анализ значений, получаемых в массивах данных, и формирование оценки состояния проходящего колеса, определение скорости движения состава, счет количества прошедших колесных пар и вагонов.

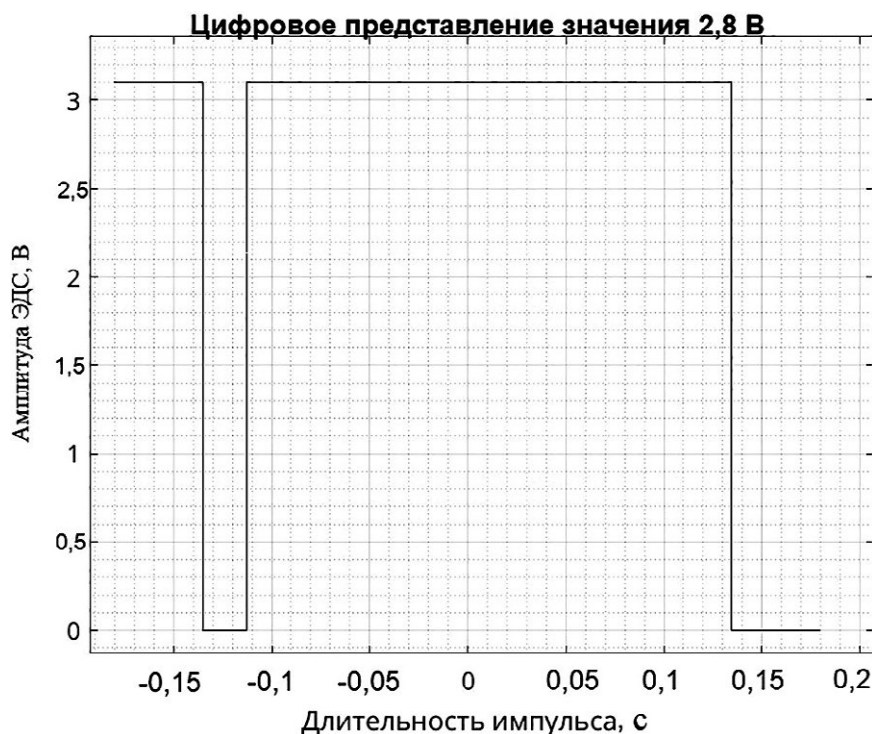


Рис. 2. Представление цифрового значения сигнала $\Pi\tau$, соответствующего значению 2,8 В аналогового сигнала $s(t)$ (Рис. 1)

Fig. 2. Representation of the digital value of the $\Pi\tau$ signal corresponding to the 2.8 V value of the analog signal $s(t)$ (Fig. 1)

БЛОК ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА МАГНИТОИНДУКЦИОННОГО ДАТЧИКА И ПРИНЦИП ЕГО РАБОТЫ

Внутри корпуса БФС смонтирован микроконтроллер со встроенным аналого-цифровым преобразователем (АЦП), имеющий вход для сигнала от магнитоиндукционного датчика счета осей железнодорожного состава. Микроконтроллер с аналого-цифровым преобразователем соединен с приемопередатчиком. Внутри корпуса БФС установлен блок питания, соединенный с микроконтроллером и приемопередатчиком. Блок формирования сигналов, выполняет функции преобразования поступающего от магнитоиндукционного датчика (ШМП12, ДМ12) аналогового сигнала в цифровой для его анализа и последующей передачи.

Блок преобразования и передачи сигнала, поступающего от магнитоиндукционного датчика счета осей железнодорожного состава, работает следующим образом: первичный сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера (ADC-преобразователь),

далее цифровой сигнал передается на вход приемопередатчика со схемой, реализующей интерфейс RS-485, а уже затем с приемопередатчика данные передаются на персональный компьютер для дальнейшего анализа.

Для формирования всего массива данных, получаемых блоком формирования сигналов, рассмотрим аналоговый сигнал (Рис. 3), полученный при проходе колеса над магнитоиндукционным датчиком ШМП12.

Данный сигнал характеризуется 18 массивами (Табл. 1), которые были получены в результате аналого-цифрового преобразования.

При обработке поступающих данных о количестве осей и счете вагонов важно определить, были ли значения получены в результате прохода колеса, или они являются результатом постороннего шума. Устройство БФС с момента включения осуществляет непрерывное дискретное преобразование, которое представлено конечным числом отсчетов. Результаты преобразований хранятся в массиве из 20 значений;

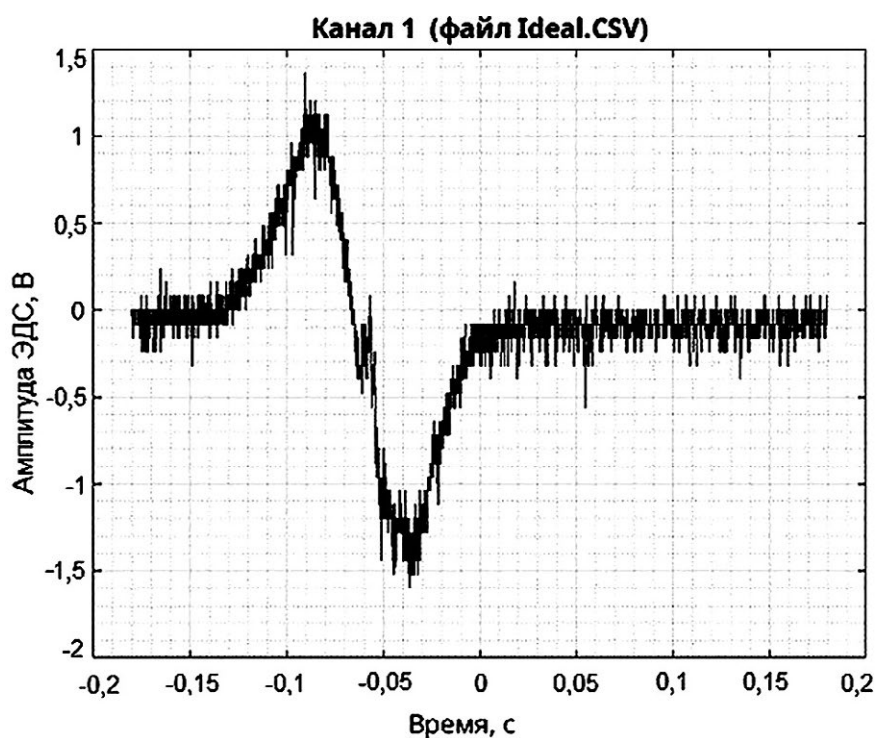


Рис. 3. Стандартный сигнал, получаемый при проходе колеса над магнитоиндукционным датчиком, содержащий паразитный шум (колесо без изъянов)

Fig. 3. The standard signal received when the wheel passes over the magnetoinduction sensor, containing spurious noise (the wheel is without flaws)

Таблица 1. Массивы дискретных значений, характеризующие аналоговый сигнал**Table 1.** Arrays of discrete values characterizing the analog signal

Time	Value
2024-08-07 13:32:44.864262	[1, 0, 0, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 1, 2, 2, 2, 3, 2, 2, 2, 2, 2]
2024-08-07 13:32:44.876861	[2, 3, 2, 2, 2, 2, 2, 4, 3, 4, 5, 5, 5, 6, 7, 7, 7, 6, 7, 7]
2024-08-07 13:32:44.889998	[6, 7, 7, 7, 6, 7, 7, 7, 8, 7, 7, 8, 8, 9, 11, 11, 10, 11, 11, 12]
2024-08-07 13:32:44.902592	[9, 11, 11, 10, 11, 11, 12, 13, 13, 13, 14, 13, 15, 14, 15, 16, 16, 16, 17, 18]
2024-08-07 13:32:44.915676	[14, 15, 16, 16, 16, 17, 18, 18, 20, 21, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 27, 30]
2024-08-07 13:32:44.928634	[24, 25, 26, 27, 28, 27, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 40, 42, 46, 46, 48, 50, 52]
2024-08-07 13:32:44.944123	[42, 46, 46, 48, 50, 52, 55, 58, 60, 62, 64, 65, 68, 73, 74, 78, 82, 86, 88, 91]
2024-08-07 13:32:44.957045	[74, 78, 82, 86, 88, 91, 96, 102, 106, 110, 113, 118, 123, 128, 134, 138, 142, 146, 153, 158]
2024-08-07 13:32:44.970383	[128, 134, 138, 142, 146, 153, 158, 166, 172, 177, 184, 193, 201, 208, 217, 224, 234, 241, 248, 258]
2024-08-07 13:32:44.984467	[217, 224, 234, 241, 248, 258, 268, 274, 282, 296, 308, 319, 323, 332, 347, 366, 384, 398, 407, 417]
2024-08-07 13:32:44.999836	[347, 366, 384, 398, 407, 417, 437, 462, 484, 493, 506, 523, 535, 546, 569, 593, 606, 622, 650, 679]
2024-08-07 13:32:45.013687	[606, 622, 650, 679, 698, 719, 749, 774, 792, 808, 828, 852, 878, 897, 920, 948, 975, 998, 1011, 1032]
2024-08-07 13:32:45.026467	[897, 920, 948, 975, 998, 1011, 1032, 1056, 1076, 1100, 1126, 1141, 1162, 1182, 1195, 1215, 1249, 1253, 1253, 1253]
2024-08-07 13:32:45.039031	[1162, 1182, 1195, 1215, 1249, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253]
2024-08-07 13:32:45.052446	[1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1253, 1247, 1215, 1218, 1212, 1181, 1128, 1077]
2024-08-07 13:32:45.068047	[1218, 1212, 1181, 1128, 1077, 1074, 1062, 1017, 1011, 1036, 1001, 900, 856, 881, 842, 736, 674, 682, 657, 590]
2024-08-07 13:32:45.081447	[842, 736, 674, 682, 657, 590, 554, 508, 444, 397, 343, 311, 283, 191, 111, 83, 27, 0, 0, 0]
2024-08-07 13:32:45.094476	[111, 83, 27, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]

для отсеивания посторонних сигналов применяется программный фильтр, написанный на языке Python [9], который анализирует информацию и определяет, были ли данные получены в результате движения колес, или они являются следствием постороннего шума. Ниже приведены программа фильтра и логика его работы.

```
def parasiticConversionChecker(signalData: list[int]) -> int:
```

```
    PARASITIC_CONVERSION_VALUE = 100
```

```
    oneMoreCounter: int = 0
```

```
    for arg in signalData:
```

```
        if(arg > PARASITIC_CONVERSION_VALUE):
```

```
            oneMoreCounter += 1
```

```
        break
```

```
    return oneMoreCounter
```

В данном случае **def parasitic Conversion Checker (signal Data: list[int]) -> int:** – это средство проверки паразитного преобразования (данные сигнала: список [int]) -> int:), а **return one More Counter** – обнуление счетчика.

Аналого-цифровой преобразователь БФС регистрирует всплеск, который соответствует последовательности значений [12, 0, 0, 40, 20, 35, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 18, 0, ... 0] [10]. Программно установленный параметр отсеивания лишних значений **PARASITIC_CONVERSION_VALUE = 100** (установлен на значение 100) определяет минимальные значения для элементов массива и преобразует их в целое число. Все значения меньше 100 являются шумами и отсеиваются. После выполненной предварительной обработки отсеивания шумов будут подготовлены данные для последующей работы (Табл. 1).

Опираясь на эти данные, можно определить скорость колеса:

$I_{\text{массив}} = 18$ (количество массивов, полученных в результате преобразования аналогового сигнала, получаемого от магнитоиндукционного датчика);

$t_{\text{сигнала}} = 360 \text{ мс} = 0,36 \text{ с}$ (длительность импульса сигнала);

$S_{\text{датчика}} = 421 \text{ мм}$ (расстояние, которое проходит условная точка колеса над головкой датчика).

Для определения скорости колеса непрерывным преобразованием Фурье [11] рассчитывают время прохода колеса над датчиком; данные получают с учетом количества значений внутри массива. После проведения преобразований получаем скорость прохода колеса над датчиком $V_{\text{колеса}} = 4,2 \text{ км/ч}$ (Рис. 3).

Для определения скорости состава с помощью MATLAB обрабатывается свыше 1000 массивов значений.

Ниже представлен код на языке Python [12], который реализует описанную ранее логику определения скорости

```
result: str = None
for element in range(counter, len(self.__signalArguments)):
    if(sel.__signalArguments[element] == 0):
        result = "Wheel has no defects" (колесо не имеет дефекта)
        break
return result speed wheel Data) - 4,2 км/ч
```

В данном случае **return result speed wheel Data) – 4,2 км/ч** – определяемая программой скорость колеса.

ПРОГРАММНЫЕ АЛГОРИТМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ КОЛЕС ТЕЛЕЖКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ВАГОНА

Рассмотрим алгоритмы оценки состояния колес тележки железнодорожного вагона, реализованные на программном уровне. По графику сигнала (Рис. 4) можно сказать, что кратковременный импульсный всплеск, полученный на пике сигнала в области как положительных (временной интервал от $-0,1$ до $-0,07840$ мс), так и отрицательных (от $-0,07$ до $-0,05$ мс) значений, характеризует момент фиксирования дефекта на гребне проходящего колеса. При фиксировании дефекта колеса аналоговый сигнал, поступающий от магнитоиндукционного датчика, имеет дополнительную амплитуду, полученную в момент прохождения дефектного участка колеса.

При выполнении аналого-цифрового преобразования в результирующей последовательности целочисленных значений повторяемая серия импульсов сигнала будет характеризоваться самими значениями. Данную корреляцию можно установить алгоритмом сравнения, работающим по логике «если текущее значение больше следующего, то условие выполнено верно (true), если меньше, то условие не выполнено (false)», где «верно» (true) – логический 0, а «не выполнено» (false) – логическая единица.

Данный алгоритм сравнения показывает наличие или отсутствие повторяющейся серии импульсов. Получаемых значений довольно много, каждый массив значений имеет свой временной интервал. Для упрощения работы со значениями была выполнена операция усреднения по каждому массиву прямым дискретным по времени преобразованием Фурье.

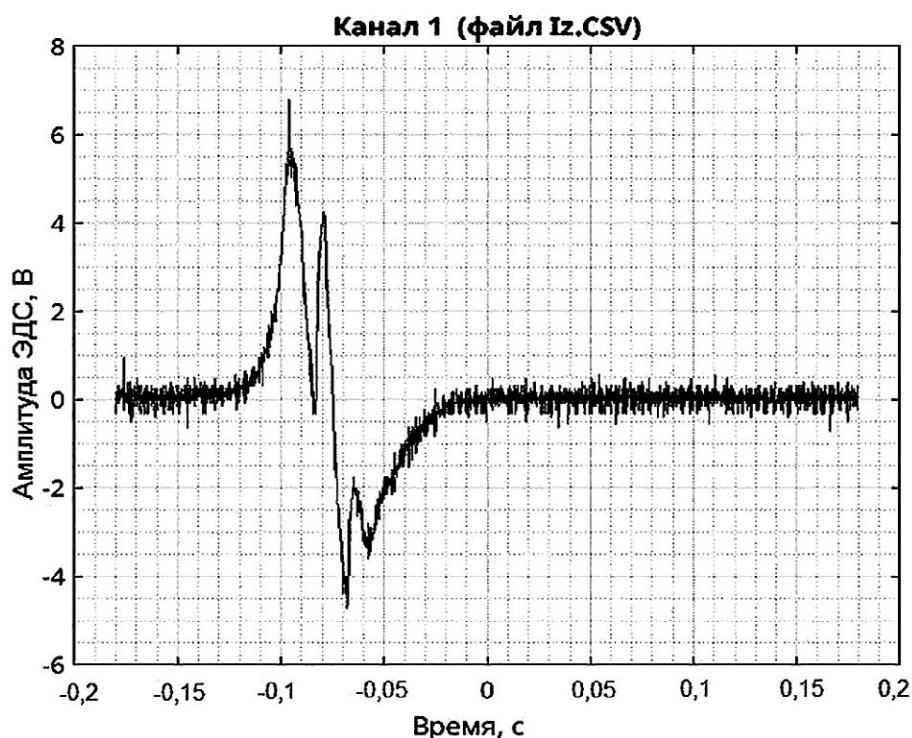


Рис. 4. Сигнал при проходе колеса с изъяном над магнитоиндукционным датчиком, зафиксированный в лабораторных условиях

Fig. 4. The signal during the passage of a wheel with a flaw above the magnetoinduction sensor, recorded in the laboratory

В результате массивы были представлены полученными усредненными значениями [13]. В Табл. 2 записаны время и усредненные значения рассчитанного с помощью MATLAB сигнала, полученного от датчика при проходе колеса с дефектом.

Выполним в среде MATLAB последовательное сравнение данных, представленных в табл. 2, используем два массива из нескольких значений, приведенных в таблице.

$A = [131, 262, 393, 458, 917, 1310, 1572, 2031, 2358, 3669, 1900, 3931, 2555]$.

$B = [262, 393, 458, 917, 1310, 1572, 2031, 2358, 3669, 1900, 3931, 2555, 458]$.

После последовательного сравнения, характеризуемого условием $A[i] > B[i]$, получается массив из K значений [14], состоящий из 0 и 1:

$K = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 1, 1]$.

Исходя из описанной логики сравнения, по полученному массиву K можно сделать вывод, что первые нули $[0, 0, 0, <...>]$ характеризуют

Таблица 2. Усредненные дискретные значения, характеризующие сигнал от датчика при проходе колеса с изъяном

Table 2. Averaged discrete values characterizing the signal from the sensor during passage of the defective wheel

Время	Значения
2024-08-12 13:10:25.133023	2,05
2024-08-12 13:10:25.146020	2,85
2024-08-12 13:10:25.158561	4,7
2024-08-12 13:10:25.171318	8,35
2024-08-12 13:10:25.184731	15,6
2024-08-12 13:10:25.197408	28,75
2024-08-12 13:10:25.210158	56,0
2024-08-12 13:10:25.224262	99,75
2024-08-12 13:10:25.237749	220,05
2024-08-12 13:10:25.250995	322,75
2024-08-12 13:10:25.263986	280,8
2024-08-12 13:10:25.276865	155,15
2024-08-12 13:10:25.290760	79,15
2024-08-12 13:10:25.303872	234,6
2024-08-12 13:10:25.317770	123,7

момент нарастания получаемого от магнитоиндукционного датчика сигнала; последующие единицы [$\langle \dots \rangle$ 0, 1, 1, 1, $\langle \dots \rangle$] характеризуют момент спада сигнала.

Для сигнала, получаемого при проходе колесной пары без дефектов, наблюдался бы только этот ряд значений: [0, 0, 0, 1, 1, 1]. Следует обратить внимание, что в данном случае после момента спада первой полуамплитуды получаемого сигнала наблюдается резкий подъем, выраженный нулем [1, 1, 0, 1, 1], за которым следует ряд единиц, отражающих спад. Эти импульсные всплески повторяются многократно и отражают дефект на колесе.

Ниже приведен пример кода на языке Python для анализа полученных значений и реализации алгоритма программы определения изъяна на гребне колеса.

```

self.__signalArguments = DefectAnalysis.
trendAssessment(DefectAnalysis.getMiddle(signalArguments))
Анализ дефекта
def difectDetection(self) -> str:

```

```
counter: int = 0
while(counter < len(self.__signalArguments)):
if(self.__signalArguments[counter] == 1):
break
counter += 1

result: str = None
for element in range(counter, len(self.__signalArguments)):
if(self.__signalArguments[element] == 0):
result = "Wheel has no defects"колесо не имеет дефект
break else:следующее колесо
result = "Wheel has a defect"( результат = "Колесо имеет дефект")

return result
```

Приведенный код написан в рамках объектно ориентированной парадигмы (ООП), поэтому в качестве основных логических структурных элементов в программе используются объекты, а не алгоритмы [15].

В нашем случае метод создания объекта класса анализируемых дефектов (Defect Analysis) принимает два аргумента, которые сохраняются в качестве переменных данных памяти после инициализации поля памяти аргумента сигнала (self. __signal Arguments); как указано в аннотации к типу модуля Python [9], это поле памяти принимает значение массива, который хранит последовательность элементов с целыми значениями. В качестве аргумента передаваемого конструктору класса анализируемых дефектов (Defect Analysis) должен быть передан общий массив значений из таблицы (см. табл. 1), столбец «Значение».

Создание экземпляра класса анализируемых дефектов (Defect Analysis) было выполнено методом классификации средних значений (get Middle); в процессе был получен новый массив, содержащий средние значения для каждого из значений, вложенных в общий массив. Полученные средние значения приведены в Табл. 2, столбец «Значение». Результирующие значения передаются в качестве аргумента вызываемому методу класса оценки тренда (trend Assessment), в ходе которого с помощью алгоритма последовательного сравнения будет получена последовательность значений 0 и 1, которые включаются

в новый сгенерированный массив К. После создания экземпляра класса можно будет вызвать метод обнаружения различий (defect Detection), который реализует логику анализа массива К. Результатом работы этого метода будет строка «колесо без дефекта» (Wheel has no defects), которая означает, что колесо не имеет дефектов. Если в результате анализа будет установлено, что колесо имеет дефекты, то метод выделит строку Wheel has a defect.

Этот программный метод, реализуемый на устройстве блока формирования сигналов, позволил создать устройство преобразования сигналов с уникальными данными и дал возможность таким устройствам контролировать скорость проходящего состава и определять дефекты на гребнях колес вагонов во время движения.

Разработанный в НВЦ БТ РГУПС блок формирования сигналов при прохождении колеса поезда над магнитоиндукционным датчиком будет передавать на экран персонального компьютера следующий набор данных:

Place: (1361 kilometers) Tekhnikum station

Passage Status: Partly

Date: 2024-08-12 12:44:28

Wheel: 1

Defect: Wheel has no defects

Carriage: 1

Speed: 16.81 k/h

[Место: (1361 километр) Станция Техникум (СКЖД)

Статус проезда: Участник

Дата: 2024-08-12 12:44:28

Колесо: 1

Дефект: Колесо не имеет дефектов

Вагон: 1

Скорость: 16,81 км/ч]

Именно так на программном уровне реализуется алгоритм оценки состояния ходовой части подвижного состава, счет количества осей и вагонов системой, включающей усовершенствованные магнитоиндукционные датчики и блок формирования сигналов.

ВЫВОДЫ

Разработанная инновационная система счета осей и диагностики колесных пар подвижного состава, включающая помехоустойчивые магнитоиндукционные датчики и микропроцессорные блоки формирования сигналов, для которых разработаны программы, декодирующие сигнал, обладает повышенной эффективностью и точностью диагностики.

Представленная система способна надежно работать в условиях Крайнего Севера и Дальнего Востока и обеспечивает при высокоскоростном движении счет осей, числа вагонов, определение скорости движения, фиксацию времени прохода участка пути и определение места входа состава, а также контролирует занятость участка пути.

Предложенные и исследованные новые технико-технологические решения повышают эффективность управления высокоскоростным движением и позволяют повысить объемы пассажирских и грузовых перевозок железнодорожным транспортом за счет дополнительного функционала: самодиагностики системы, протоколирования прохода поездов, пакета компьютерных программ при работе с устройством БФС. Система реализуется на базе отечественных комплектующих и программно-аппаратных средств и может быть использована на всей сети железных дорог России. В настоящее время проходят эксплуатационные испытания опытных устройств БФС с усовершенствованными, более надежными магнитоиндукционными датчиками в одном из территориальных филиалов ОАО «РЖД» – на Северо-Кавказской железной дороге.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Ростовского государственного университета путей сообщения.

Авторы заявляют что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

The authors state that:

1. They have no conflict of interest;
2. This article does not contain any studies involving human subjects.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перспективы датчиков колес и систем счета осей. Часть I // Железные дороги мира. 2012. № 6. С. 51–57. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: <https://zdmira.com/archive/2012/06#grid-item10>. EDN: OXWBPT
2. Мишарин А.С. Высокоскоростные магистрали – артерии российского гигаполиса // Транспорт Российской Федерации. 2016. № 2–3 (63–64). С. 7–10. EDN: WDJQDL
3. Петров К.С., Кондратенко Е.В., Петров В.В. Разработка системы магнитоиндукционных датчиков для диагностирования износа гребней колесных пар подвижного состава // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65, № 8. С. 585–596. doi: 10.17586/0021-3454-2022-65-8-585-596
4. Шаповалова Ю.В., Пустовой Ю.Е., Эгизян А.А., Швалов Д.В. Моделирование неисправностей магнитоиндукционных датчиков счета осей. В кн.: Труды II Международной научно-практической конференции «Цифровые инфокоммуникационные технологии», 16 декабря 2022 года, Ростов-на-Дону. Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. С. 279–283. doi: 10.46973/978-5-907295-76-6_2022_279
5. Соломин В.А., Штанке В.В. Инновации в диагностике колесных пар подвижного состава путевыми магнитоиндукционными датчиками // Вестник Института проблем естественных монополий. Техника железных дорог. 2024. № 1 (65). С. 32–37. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: <https://techzd.ru/upload/iblock/979/5o516xkgngljzuphkt5rwuqcg0dsj8.pdf>
6. Патент РФ на изобретение № 2808857 / 05.12.23. Бюл. № 35. Штанке В.В. Способ диагностики технического состояния колесных пар и тележек железнодорожных вагонов. EDN: OHIURW
7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.
8. Бочарова А.А., Зайко Н.Ю. Математические основы обработки сигналов. Владивосток: ДВФУ, 2022. ISBN: 978-5-7444-5296-4. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/246/db03o89u2c5u83hyw980qzxdwrdo97k3/Bocharova_A.A.,_Zajko_N.YU._Matematicheskie_osnovy_obrabotki_signalov.pdf?ysclid=m6ot9z42sr584452943
9. Яворски М., Зиаде Т. Python. Лучшие практики и инструменты Expert Python Programming. СПб.: Питер, 2024. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: <https://library.cbr.ru/catalog/lib/books/955391/?ysclid=m6otr999ej299552641>
10. Лафоре Р. Объектно-ориентированное программирование в C++. СПб.: Питер, 2024.
11. Фрик П.Г. Обработка и анализ сигналов и изображений в физических экспериментах. Пермь: ПГНИУ, 2023. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Frik-Obrabotka-i-analiz-signalov-i-izobrazhenij-v-fizicheskikh-eksperimentah.pdf>
12. Саммерфилд М. Программирование на Python 3. Подробное руководство. СПб., М.: Символ Плюс, 2009.

13. Коберниченко В.Г. Основы цифровой обработки сигналов. Екатеринбург: УрФУ, 2018. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65261/1/978-5-7996-2464-4_2018.pdf?ysclid=m6ous3q1dx398458934
14. Ревинская О.Г. Основы обработки данных в среде MatLab 2013 Часть 1. Томск: ТомГУ, 2015. Дата обращения: 20.01.2025. Режим доступа: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000521578/SOURCE1>
15. Толмачев Д.Е., Тарасьев А.А., Турыгина В.Ф. Методы объектно-ориентированного анализа и программирования в управлении экономическими системами. Екатеринбург: УрФУ, 2023. EDN: AXITIF

REFERENCES

1. Perspectives of wheel sensors and axle counting systems. Part I. *Zheleznye dorogi mira*. 2012;(6):51–57. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: <https://zdmira.com/archive/2012/06#grid-item10> EDN: OXWBPT
2. Misharin AS. High-speed railways as the traffic arteries of a Russian gigametropolis. *Transport of the Russian Federation*. 2016;2-3(63–64):7–10. (In Russ.) EDN: WDJQDL
3. Petrov KS, Kondratenko EV, Petrov VV. Development of a system of magnetic induction sensors for diagnosing wear of the rolling stock wheelset crest. *Journal of Instrument Engineering*. 2022;65(8):585–596. (In Russ.) doi: 10.17586/0021-3454-2022-65-8-585-596
4. Shapovalova YuV, Pustovoi YuE, Egizian AA, Shvalov DV. Fault modelling magneto-inductive axis counting sensors. In: *Proceedings of the 2nd International Scientific-Practical Conference “Digital infocommunication technologies”, 2022 Dec 16. Rostov-on-Don*. Rostov-on-Don: RSTU; 2022:279–283. (In Russ.) doi: 10.46973/978-5-907295-76-6_2022_279
5. Solomin V, Shtanke V. Innovations in diagnostics of wheel pairs of rolling stock by track magnetic induction sensors. *Railway Equipment*. 2024;(1)65:32–37. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: <https://techzd.ru/upload/iblock/979/5o516xkgngljzuphkqt5rwuqcg0dsj8.pdf>
6. Patent RUS №2808857/ 05.12.23. Byul. № 35. Shtanke V. Method for diagnosing the technical condition of wheel pairs and bogies of railway cars. (In Russ.) EDN: OHIURW
7. Sergienko AB. *Digital signal processing*. 3rd ed. Saint Petersburg: BHV-Peterburg; 2011. (In Russ.)
8. Bocharova AA, Zajko NJu. *Mathematical foundations of signal processing*. Vladivostok: DVFU; 2022. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/246/dbo3o89u2c5u83hyw980qzxdwrdo97k3/Bocharova_A.A.,_Zajko_N.YU._Matematicheskie_osnovy_obrabotki_signalov.pdf?ysclid=m6ot9z42sr584452943
9. Javorski M, Ziade T. Python. *Best Practices and Tools Expert Pothon Programming*. Saint Petersburg: Piter; 2024. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: <https://library.cbr.ru/catalog/lib/books/955391/?ysclid=m6otr999ej299552641>

10. Lafore R. Object-oriented programming in C++. Saint Petersburg: Piter; 2022. (In Russ.)
11. Frik PG. *Processing and analysis of signals and images in physical experiments*. Perm': PSSRU; 2023. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/Frik-Obrabotka-i-analiz-signalov-i-izobrazhenij-v-fizicheskikh-eksperimentah.pdf>
12. Sammerfeld M. *Programming in Python 3. Detailed guide*. Saint Petersburg, Moscow: Simvol Pljus; 2009. (In Russ.) Available from: http://uchcom7.botik.ru/L/prog/python/python_08.pdf Accessed: 20.01.2025.
13. Kobernichenko VG. *Fundamentals of Digital Signal Processing*. Ekaterinburg: UrFU, 2018. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/65261/1/978-5-7996-2464-4_2018.pdf?ysclid=m6ous3q1dx398458934
14. Revinskaja OG. *Fundamentals of data processing in the MatLab 2013 environment*. Part 1. Tomsk: TomSU; 2015. (In Russ.) Accessed: 20.01.2025. Available from: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/services/Download/vtls:000521578/SOURCE1>
15. Tolmachev DE, Tarasev AA, Turygina VF. *Methods of object-oriented analysis and programming in the management of economic systems*. Ekaterinburg: UrFU; 2023. (In Russ.) EDN: AXITIF

Сведения об авторах:

Штанке Вероника Валерьевна, начальник научно-внедренческого центра «Безопасность транспорта»;
eLibrary SPIN: 4745-3051; ORCID: 0000-0002-7145-5999;
E-mail: arnold.shtanke@yandex.ru

Соломин Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор;
eLibrary SPIN: 6785-9031; ORCID: 0000-0002-0638-1436;
E-mail: ema@rgups.ru

Соломин Андрей Владимирович, доктор технических наук, профессор;
eLibrary SPIN: 7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru

Information about the authors:

Veronika V. Shtanke, Head of the Scientific and Innovation Center Transport Safety;
eLibrary SPIN: 4745-3051; ORCID: 0000-0002-7145-5999;
E-mail: arnold.shtanke@yandex.ru

Vladimir A. Solomin, Doctor of Technical Sciences, Professor;
eLibrary SPIN: 6785-9031; ORCID: 0000-0002-0638-1436;
E-mail: ema@rgups.ru

Andrei V. Solomin, Doctor of Technical Sciences, Professor;
eLibrary SPIN: 7805-9636; ORCID: 0000-0002-2549-4663;
E-mail: vag@kaf.rgups.ru