

Александр Калининченко, Николай Бублей. **Формирование рациональной транспортно-технологической схемы доставки грузов в контейнерах в направлении УКРАИНА – ТУРЦИЯ.** Приведены результаты исследований по выбору рациональной транспортно-технологической схемы доставки грузов в контейнерах по маршруту Харьков – Анкара. Разработана модель выбора рациональной транспортно-технологической схемы доставки по критерию минимальных затрат. Определена эффективность и экономический эффект от внедрения предложенной схемы доставки.

Калініченко Олександр Петрович к.т.н., доц. кафедри “Транспортні технології”, ХНАДУ, м. Харків, Україна.

Бублей Микола Володимирович Магістр кафедри “Транспортні технології”, ХНАДУ, м. Харків, Україна.

УДК 629.4.052.2

Клюев С.А.

м. Сєвєродонецьк

АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ УГЛА НАБЕГАНИЯ КОЛЕСА НА РЕЛЬС

В статье предложено измерять угол набегания колеса на рельс при движении колёсной пары в рельсовой колее на основе метода акустической эмиссии, возникающей в результате контактного взаимодействия колеса с рельсом. Приведен алгоритм обработки акустической эмиссии в диапазоне частот от 200 до 300 Гц с целью определения величины угла набегания колеса на рельс, которая используется при синтезе системы автоматического управления положением колесных пар в рельсовой колее.

Ключевые слова: угол набегания, акустическая эмиссия, преобразование Фурье, колесная пара, управление.

Постановка проблемы. Для снижения силового воздействия гребня колеса с головкой рельса при движении экипажа на криволинейных участках пути целесообразно уменьшать угол набегания колеса на рельс. Для этого необходимо измерение фактического угла набегания колеса на рельс во время движения, информацию о котором используется в качестве управляющего воздействия для поворота колёсной пары в рельсовой колее.

Существующие методы определения угла набегания колеса на рельс не позволяют выполнять измерения угла набегания колеса на рельс во время движения.

Анализ последних исследований и публикаций. Известно устройство для определения угла набегания колеса на рельс, состоящее из жесткой рамы и четырех емкостных датчиков [1]. Вычисление угла набегания колеса на рельс выполняется после обработки записанных осциллограмм, что не приемлемо для работы системы управления в автоматическом режиме. Альтернативным методом определения угла набегания колеса на рельс является видеосъемка [2, 3]. Метод видеосъемки не обеспечивает оперативную оценку угла набегания колеса на рельс, поэтому не пригоден для решения поставленной задачи.

Цель. Целью работы является разработка метода автоматического контроля угла набегания колеса на рельс при управляемом движении колесной пары в рельсовой колее.

Результаты исследований. При движении локомотива происходит силовое взаимодействие колеса с рельсом, в результате взаимодействия, которых генерируется акустическая эмиссия (АЭ), отражающая происходящие физические процессы контактного взаимодействия [4].

Исследуемый спектр акустической эмиссии является суммарным акустическим сигналом от колесной пары и рельса, генерируемый в зависимости от шероховатости колесной пары и рельса, контактного силового взаимодействия и от вибрационных процессов в контакте колеса с рельсом. При увеличении угла набегания, площадь контакта смещается в направлении движения. Это смещение приводит к изменению спектра акустической эмиссии и появлению нежелательной про-

дольной составляющей вертикальной нагрузки и, как следствие, возникновению дополнительного дестабилизирующего момента, действующего в горизонтальной плоскости.

С целью выявления информативного признака угла набегания колеса на рельс выполнен анализ исследуемого спектра акустической эмиссии, полученного на натурной катковой станции при различных углах набегания [5]. Анализ результатов показывает, что уровень звукового давления изменяется при изменении угла набегания между колесом и рельсом. В диапазоне частот от 200 до 300 Гц происходит максимальное отклонение уровня звукового давления от его эквивалентного уровня. По величине максимального отклонения от эквивалентного уровня звукового давления, можно измерить угол набегания колеса на рельс [6].

Для этого необходимо разработать алгоритм обработки информации, получаемой с микрофона, направленного в контакт колесо-рельс. Этот алгоритм работает в дискретном режиме и определяет значения максимального отклонения уровня звукового давления от эквивалентного уровня для этих частот.

В результате обработки акустической эмиссии из контакта колесо-рельс на доминирующей частоте шумов получены значения уровня звукового давления для соответствующего угла набегания [7].

Функциональная зависимость уровня звукового давления от угла набегания на преобладающей частоте акустической эмиссии используется для определения угла набегания колеса на рельс, необходимого при формировании управляющего воздействия актуатора (гидроцилиндра) на колесную пару локомотива при прохождении криволинейных участков пути [8].

Разрабатываемая система анализа сигналов акустической эмиссии, возникающей в результате контактного взаимодействия колеса с рельсом, должна удовлетворять требованиям, которые предъявляются к АЭ системам [9]:

1. Эффективное значение напряжения собственных шумов (приведенное ко входу) $U_{ш}$ не должно превышать 5 мкВ.
2. Динамический диапазон измерения амплитуды сигнала АЭ $K_{АДД}$ должен быть не менее 60 дБ.
3. Диапазон рабочих частот $\Delta F_{рч}$ должен быть от 100 Гц до 8 кГц.
4. Скорость обработки импульсов АЭ не менее 1000 с^{-1} .

Алгоритм расчета характеристик акустической эмиссии в устройстве, показан на рис. 1.

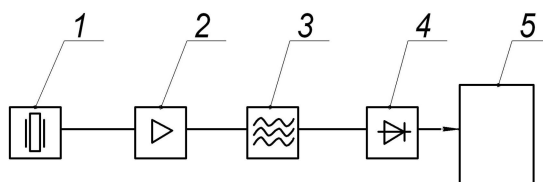


Рис. 1 Структурная схема устройства регистрации сигналов акустической эмиссии
1 – Датчик (микрофон); 2 – Усилитель; 3 – Полосовой фильтр; 4 – Амплитудный детектор; 5 – Плата сбора данных.

Сигнал с датчика 1 усиливается в усилителе 2 и поступает в полосовой фильтр 3, в котором происходит частотное разделение сигнала акустической эмиссии с помощью амплитудных детекторов 4, выполняющие демодуляцию сигналов в соответствии частотного диапазона. Обработанный сигнал поступает на плату сбора информации.

Полосовой фильтр представляет собой систему активных высокочастотных и низкочастотных фильтров.

В качестве датчика используется широкополосный датчик ($f_{\max}/f_{\min} \geq 2$), позволяющий исследовать форму и частотный спектр сигналов АЭ, благодаря которому более точно измеряется сигнал акустической эмиссии.

Усилитель представляет собой малозумящий широкополосный усилитель с входными каскадами на полевых транзисторах.

При исследовании акустической эмиссии:

1. Сигнал представляется в цифровой форме в виде последовательности цифровых отсчетов.
2. Получение цифровой последовательности выполняется вейвлет-преобразованием с использованием вейвлет-функции $W_f(t, a)$ для различных моментов времени t .

Вейвлет-преобразование:

$$W_f(t, a) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\left(\frac{x-t}{a}\right) \cdot f(x) dx, \quad (1)$$

где $f(x)$ - исследуемый сигнал;

$\Psi(x)$ - вейвлет-функция;

$$\Psi(x) = (\cos x + i \cdot \sin x) \cdot e^{-\frac{x^2}{50}};$$

t – время;

a – масштаб вейвлет-функции.

3. Момент времени t , для которого определяется амплитуда сигнала, как наибольшая для данного значения времени величина $W_f(t, a)$ и частота F по формуле:

$$F = 1/a. \quad (2)$$

Частотный спектр получается путем обработки сигналов акустической эмиссии по алгоритму быстрого преобразования Фурье.

Для области качения, функция контактного взаимодействия колеса с рельсом представляется в виде спектров периодически повторяющихся импульсов и раскладывается в ряд Фурье, следующего вида [10]:

$$s(t) = \frac{A_0}{2} + \sum_{v=1}^{\infty} (A_v \cos \omega_v t + B_v \sin \omega_v t) \quad (3)$$

где $A_0 = 2t_i U_0 f_i$;

$$A_v = \frac{2t_i U_0}{T} = 2f_1 t_i U_0 \left[\frac{\sin(\omega_v t_i \frac{1}{2})}{\omega_v \frac{t_i}{2}} \right];$$

$f_1 = \frac{1}{T}$; v – переменный индекс.

При появлении угла отличающегося от нуля, коэффициенты Фурье, следующие: $\frac{A_0}{2} = \frac{U_0}{2}$;

$$A_v = 0; B_v = \frac{U_0}{v\pi}.$$

По статистическим данным экспериментальных исследований контактного взаимодействия колеса с рельсом, получена аналитическая зависимость уровня звукового давления от угла набегания колеса на рельс описывается полиномом третьего порядка (4):

$$\varphi_{ij}(P_0) = 0.0001 \cdot P_0^3 - 0.002 \cdot P_0^2 + 0.0602 \cdot P_0 + 0.1206 \quad (4)$$

где $\varphi_{ij}(P_0)$ – угол набегания колеса на рельс, градусы; P_0 – уровень звукового давления с контакта “колесо-рельс” на доминирующей частоте, дБ.

Выводы. 1. Предложено контролировать угол набегания колеса на рельс с помощью метода акустической эмиссии, по аналитической зависимости уровня звукового давления на доминирующей частоте, позволяющая использовать в качестве источника информации при управляемом движении колесной пары в рельсовой колее.

2. Разработан алгоритм для анализа сигналов акустической эмиссии с контакта колесо-рельс, основанная на получение частотного спектра в результате вейвлет-преобразования исследуемого сигнала, с целью выделения доминирующей частоты, которая используется для определения угла набегания колеса на рельс.

Литература:

1. МКИ С 01 М 17/00. Устройство для определения положения колесной пары в рельсовой колее / Н.М. Крамарь, А.Л. Голубенко, В.П. Ткаченко, Н.И. Горбунов, Е.В. Михайлов, П.И. Кудла, Ю.И. Осенин, В.В. Черненко; Ворошиловгр. машиностр. ин-т. – Приоритет 07.12.83.
2. Фришман М. А. Исследования взаимодействия пути и подвижного состава методом кино съемки / Под ред. М. А. Фришмана М.: Трансжел-дориздат, 1953.

3. Min-Soo Kim. Measurement of the wheel-rail relative displacement using the image processing algorithm for the active steering wheelsets // International journal of systems applications, engineering and development. Issue 1. – Volume 6. – 2012. – P. 114-121.
4. Шапран Е.Н. Применение метода акустической эмиссии для исследования процесса формирования сцепных характеристик контакта колесо - рельс // Вестник ВНИИЖТ. 2005. №5. С. 31 – 35.
5. Спирыгин В.И. Экспериментальное исследование звукового сигнала, испускаемого из контакта колесо-рельс при различных условиях их взаимной установки / Клюев С.А. // Сборник докладов международной научной конференции “Механика и трибология транспортных систем (МеxТрибоТранс-2011)”. – Ростов-на-Дону. – 2011. – С. 214–217.
6. A.L. Golubenko, A.A. Malohatko, S.A. Klyuev, A.S. Klyuev. “The application review on the rolling stock of devices for turn of wheel pairs in the horizontal plane”. Teka “Commission of motorization and power industry in agriculture”. – Lublin. -2011 – Volume 11a. – P.5-12.
7. Спирыгин М.И. Экспериментальное исследование звукового сигнала, испускаемого из контакта колесо-рельс при различных условиях их взаимной установки. / Спирыгин.В.И., Клюев А.С., Клюев С.А. // Вестник Восточноукр. ун-та. – Луганск: ВНУ им. В.Даля. -2008. - Вип №7 (125). – с. 101-107.
8. Голубенко А.Л. Использование на железнодорожном транспорте систем, управляемых по принципам нечеткой логики для улучшения динамики экипажа в кривых / Спирыгин М.И., Спирыгин В.И., Клюев С.А., Клюев А.С. // Вестник Восточноукр. ун-та. – Луганск: ВНУ им. В.Даля. – 2012. – Вып. (№5 (176) Ч.1). – с. 16-21/
9. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев, А.В. Ковалев, Ф.Р. Соснин; под ред. В.В. Клюева. – 3-е изд., исп. и доп. – М.: Машиностроение, 2005. – 656 с.
10. Носко Г.С. К вопросу о механизме звукообразования от контактного взаимодействия колеса и рельса / Кошечкина Н.И. // Вестник Восточноукраинского национального университета им. В.Даля. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля. – 2011. – №4 (158) ч. 1. – С. 102–106.

Клюев С.О. Акустичний метод контролю кута набігання колеса на рейку. В статті запропоновано метод акустичної емісії автоматичного контролю кута набігання колеса на рейку при керованому русі колісної пари в рейковій колії. Представлена система аналізу сигналів акустичної емісії, яка утворюється в результаті контактної взаємодії колеса з рейкою. Приведен алгоритм обробки акустичних сигналів з метою виявлення найбільш інформативного признаку кута набігання колеса на рейку при синтезі системи автоматичного керування положенням колісних пар.

Ключові слова: кут набігання, акустична емісія, перетворення Фур’є, колісна пара, керування.

Klyuev S.A. Acoustic method of wheel-rail angle of attack control. In article proposed method of acoustic emission for automatic angle attack control in the active steering wheelsets system. System of acoustic emission signal analyze is shown.

For determination of informing sign of angel of attack of wheel on a rail the analysis of the research spectrum of acoustic emission, got at the model station at different corners is executed.

Analitical dependence of sound pressure level from angel of attack wheel on rail on dominant frequency of acoustic emission is used for determination of angel of attack wheel on a rail, necessity at forming of managing influence of executive mechanism on the wheelpair of locomotive at passing of curvilinear areas of way.

A frequency spectrum getting by signals processing of acoustic emission from wheel-rail contact on the algorithm of fast Fourier transformation.

Keywords: angle of attack, acoustic emission, Fourier transformation, wheel pair, control.

Клюев Сергей Александрович

старший преподаватель кафедры охраны труда и БЖД Восточноукраинского национального университета имени Владимира Даля, г. Луганск, Украина, e-mail: sergistreet@gmail.com.