

этапом на покрытие наносят окончательную дисперсионную смесь. Освобождение структуры зернистого заполнителя добавляет цементобетонному покрытию необходимую шероховатость, в результате получается безопасным дорожное движение.

Таким образом, основными достоинствами данной технологии являются: возможность использования дешевого бетона для нижнего слоя покрытия; экологическое и безопасное верхнее покрытие; высокие показатели ровности покрытия; высокая безопасность движения. В Беларуси хорошо развита сырьевая база по производству цемента и применение технологии устройства двухслойного бетона с обнаженным заполнителем является необходимым и целесообразным.

УДК 625.142.45

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТНОЙ СРЕДЫ СИСТЕМЫ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ ПУТЬ»

Д. И. БОЧКАРЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Традиционные конструкции шпал, применяемые в верхнем строении железнодорожного пути, имеют ряд недостатков, которые заключаются в их невысокой долговечности, а также невозможности демпфировать поездную нагрузку, в частности преобразуя ее в электрическую энергию.

Одним из способов преодоления указанных недостатков является разработка шпалы, преобразующей механическую (поездную) нагрузку в электрическую энергию на основе использования прямого пьезоэффекта.

Поставленная задача достигается тем, что шпала, включающая железобетонное тело, имеющее опорные площадки со сформированными в зоне последних пустотными каналами под закладные болты крепления, снабжена демпфирующими элементами, для размещения которых в теле шпалы со стороны опорных площадок выполнены пазы. В качестве демпфирующих элементов наиболее эффективно использовать пьезоэлектрические преобразователи, соединенные электродами с электрической цепью.

При приложении силы (поездной нагрузки, передаваемой колесами подвижного состава через рельсы) вдоль вертикальной оси пьезоэлектрического преобразователя на его гранях, перпендикулярных оси действия силы, появляется электрический заряд, пропорциональный действующей силе, поступающий в электрическую цепь посредством электродов. Изготовленный из пьезоэлектрического материала (пьезокомпозита или пьезокерамики, например цирконата-титаната-свинца PZT-5Н) пьезоэлектрический преобразователь имеет высокую прочность (допустимые напряжения могут достигать до $(0,7 \dots 1,0) \cdot 10^8$ Па), что позволяет прикладывать к нему большие силы. Кроме того, данный материал имеет большой модуль упругости $0,57 \cdot 10^{11}$ Па, что обуславливает высокую жесткость и очень малое собственное внутреннее трение. Электрические и механические свойства данных пьезоэлектрических материалов имеют высокую стабильность. За 10 лет изменение характеристик не превосходит 0,05 %, что позволяет прогнозировать высокий срок службы шпалы.

Напряжение, возникающее на электродах одного тензометрического преобразователя при однократном приложении нагрузки, можно определить по формуле

$$U_1 = \frac{dF}{C},$$

где d – пьезоэлектрический модуль, для цирконата-титаната-свинца PZT-5Н $d = 760 \cdot 10^{-12}$ К/Н [1]; F – сила, передаваемая одним колесом подвижного состава вдоль вертикальной оси пьезоэлектрического преобразователя, для четырехосного вагона грузоподъемностью 60 т, имеющего собственную массу 23 т, $F = 101778$ Н; C – электрическая емкость пьезоэлектрического преобразователя,

$$C = \frac{e\epsilon_0 S}{l},$$

e – диэлектрическая проницаемость материала пьезоэлектрического преобразователя, для цирконата-титаната-свинца PZT-5Н $e = 5000$; ϵ_0 – электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; S – площадь пьезоэлектрического преобразователя, $S = 0,01$ м²; l – толщина пьезоэлектрического преобразователя, $l = 0,01$ м.

Тогда

$$C = \frac{5000 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 0,01}{0,01} = 4,427 \cdot 10^{-8} \text{ Ф.}$$

Следовательно

$$U_1 = \frac{760 \cdot 10^{-12} \cdot 101778}{4,427 \cdot 10^{-8}} = 1747 \text{ В.}$$

Кроме того, напряжение U_1 может быть увеличено посредством усилителя мощности.

Сила тока, возникающая на электродах одного тензометрического преобразователя при однократном приложении нагрузки, составляет 0,01 А.

Тогда при движении состава, имеющего 100 осей, одна шпала с двумя параллельно соединенными пьезоэлектрическими преобразователями согласно [2–4] может вырабатывать без учета потерь электрическую энергию мощностью

$$P = U I n \cdot 100 = 1747 \cdot 0,01 \cdot 2 \cdot 100 = 3494 \text{ Вт.}$$

При эпюре шпал, составляющей 1840 шпал/км [5], участок железнодорожного пути протяженностью 1 км может вырабатывать электрическую энергию мощностью 6428960 Вт без учета потерь.

Одновременно с этим электрическую цепь, которая соединяет пьезоэлектрические преобразователи, можно использовать в качестве линии СЦБ, позволяющей при соответствующем программном обеспечении получать информацию о различных параметрах движения подвижного состава (высокоточном расположении поезда на перегоне, его скорости движения, состоянии поверхностей катания колес, нагрузки на каждую колесную пару, и т. д.), а также о состоянии пути (износе поверхности катания рельсов и положении рельсов в плане и по уровню).

Таким образом, реализация в конструкции верхнего строения пути технических решений по преобразованию поездной нагрузки в электрическую энергию и использования данной цепи в качестве линии СЦБ нового типа позволяет внедрить на железной дороге систему «интеллектуальный путь».

Внедрение данной системы позволяет осуществлять генерацию «зеленой» электроэнергии, достичь определенной энергонезависимости железной дороги, повысить безопасность движения поездов (в том числе реализовать интеграцию данной системы с системами автоматического ведения и управления движением) и уменьшить износ элементов верхнего строения пути.

Список литературы

- 1 Пьезоэлектрические материалы на основе гибрида матричных нано- и микропьезоэлектрических композитов / М. К. Керимов [и др.] // Институт физики НАН Азербайджана. Журнал технической физики. – 2011. – Т. 81. Вып. 8. – С. 127–134.
- 2 **Зубцов, В. И.** Организация и планирование испытаний пьезопреобразователей механических напряжений / В. И. Зубцов // Приборы и средства автоматизации. – 2002. – № 12. – С. 61–67.
- 3 **Зубцов, В. И.** Методы определения физических свойств деформируемых материалов с применением пьезо- и электрических систем : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В. И. Зубцов. – М., 2005. – 32 с.
- 4 **Зубцов, В. И.** Методика градуировки и метрологических исследований пьезодатчиков механических напряжений / В. И. Зубцов // Приборы и системы управления, контроль, диагностика. – 2002. – № 12. – С. 38–40.
- 5 **Шахунянц, Г. М.** Железнодорожный путь / Г. М. Шахунянц. – М. : Транспорт, 1969. – С. 232–246.

УДК 625.142.1

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ РЕЛЬСОВЫХ СКРЕПЛЕНИЙ ВЕРХНЕГО СТРОЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Д. И. БОЧКАРЕВ, А. С. ЛАПУШКИН

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Со времен первых железных дорог используется классическая конструкция пути: рельсы, шпалы и песчаное или щебеночное основание. Такая конструкция предельно проста и универсальна. С повышением скоростей движения и ужесточением требований к качеству пути появи-