

ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 620.1.08 + 620.179 + 534.22

ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ АКУСТИЧЕСКОГО ТЕНЗОМЕТРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЛЬСАХ

© 2023 г. К. В. Курашкин^а, А. Г. Кириллов^б, Р. В. Беляев^б

Поступила в редакцию 12.08.2022 г.

После доработки 13.02.2023 г.

Принята к публикации 07.03.2023 г.

DOI: 10.31857/S003281622304016X, EDN: RBFXUB

Прибор предназначен для определения температурных напряжений в рельсовых плетях железнодорожного пути. Принцип работы основан на акустоупругом эффекте, который отражает влияние механических напряжений на скорости распространения упругих волн.

На современных железных дорогах широко используются бесстыковые пути из непрерывно сваренных рельсов. Из-за почти полного отсутствия температурных компенсаторов закрепленные рельсовые плети не могут свободно расширяться и сжиматься при изменении температуры. Существует риск, что при сильном повышении температуры в сечении рельса возникнет критическое сжимающее продольное напряжение и произойдет температурный выброс — потеря устойчивости и изгиб рельсовой плети. В результате температурного выброса рельсы деформируются и становятся непригодными для работы, возникает угроза безопасности движения поездов.

Разработка тензометра для контроля продольных температурных напряжений в рельсах в условиях эксплуатации представляет очевидный интерес. Применение такого прибора для периодического мониторинга потенциально опасных участков железнодорожных путей позволит избежать аварийных ситуаций, связанных с температурным выбросом рельсовых плетей.

В опытном образце акустического тензометра используются головные волны, распространяющиеся вдоль направляющей рельса. Излучение и прием таких волн осуществляются с поверхности катания головки рельса с помощью контактных пьезоэлектрических преобразователей с номинальной частотой 1.25 МГц, расположенных на призмах из полиметилметакрилата под углом 27°. В приборе реализована дифференциальная схема

измерений времени распространения головной волны с одним излучателем и двумя приемниками. Такая схема измерений позволяет компенсировать влияние теплового расширения призм из полиметилметакрилата и значительно уменьшить влияние слоя контактной жидкости и линий задержки [1, 2]. Фактически, измеряемое время соответствует времени распространения головной волны на расстояние, равное расстоянию между двумя приемниками, которое составляет около 240 мм. В результате проведенных лабораторных испытаний установлено, что опытный образец ультразвукового тензометра позволяет устойчиво



Рис. 1. Внешний вид опытного образца акустического тензометра.

^аИнститут проблем машиностроения РАН — филиал Федерального исследовательского центра Институт прикладной физики РАН, Россия, Нижний Новгород

^бФедеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, Россия, Нижний Новгород

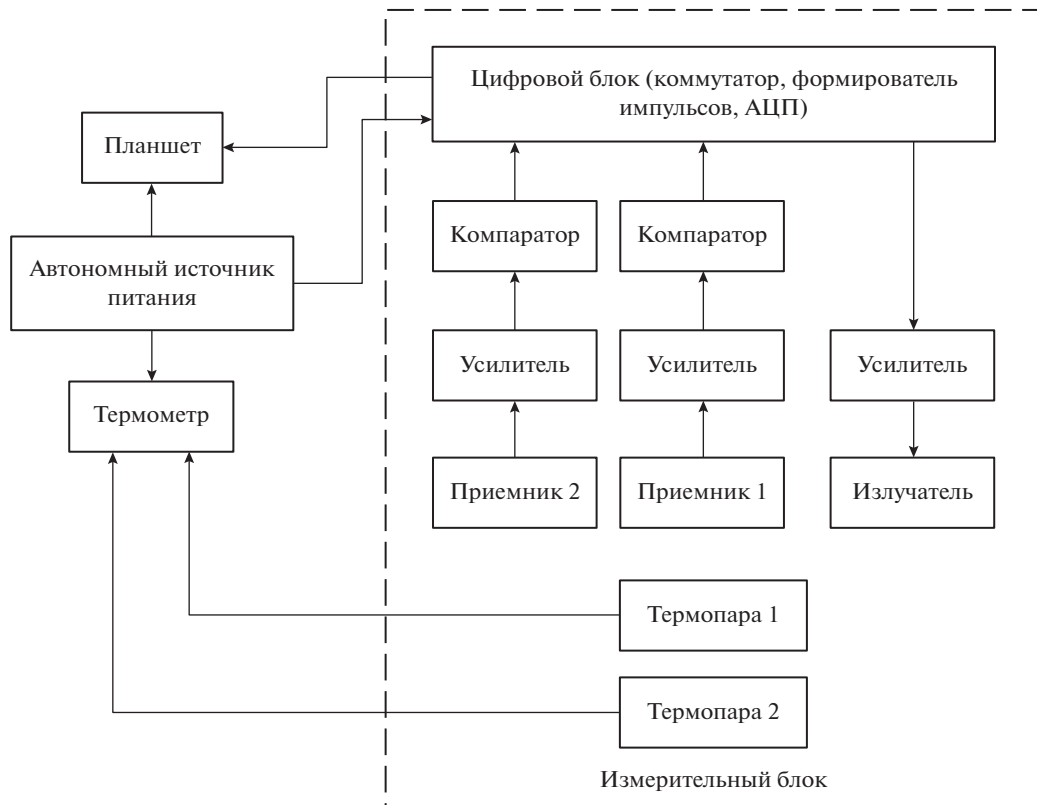


Рис. 2. Структурная схема опытного образца акустического тензометра.

определять относительное изменение времени распространения головной волны в головке рельса вследствие изменения упругой нагрузки и температуры. Относительное изменение времени распространения головной волны линейно зависит от температуры и продольного напряжения.

Конструктивно опытный образец выполнен в виде двухколесной тележки с тандемно расположенными колесами, зафиксированными на осях в защитном корпусе (рис. 1). Снизу к корпусу тележки между колесами на шарнире прикреплен измерительный блок. Измерительный блок представляет собой металлическую конструкцию (“искательную ложку”), в которой расположены три пьезоэлектрических преобразователя (один излучающий и два приемных), две термопары, а также электронные платы преобразователей напряжения, формирователя импульсов, усилителей сигналов, коммутатора и АЦП (рис. 2). К пьезоэлектрическим преобразователям во время работы подводится контактная жидкость – вода. Сверху к корпусу тележки на винтах прикреплен штанга-рукоятка, на которой закреплены автономный источник питания, термометр, планшет, а также механическая помпа и емкость для подачи воды.

Узел преобразователей напряжения формирует напряжения, необходимые для питания всех

Таблица 1. Основные технические характеристики прибора

Характеристика	Значение
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений времени распространения головной волны, нс	± 8
Пределы допускаемой абсолютной погрешности определения продольного напряжения, МПа	± 22
Длительность одного измерения, с	≤ 15
Возможность передачи данных о результатах измерений и координатах исследованного участка пути с помощью беспроводного интерфейса	есть
Номинальное значение напряжения аккумулятора, В	12
Масса, кг	8.5
Габариты, мм	400 × 50 × 850

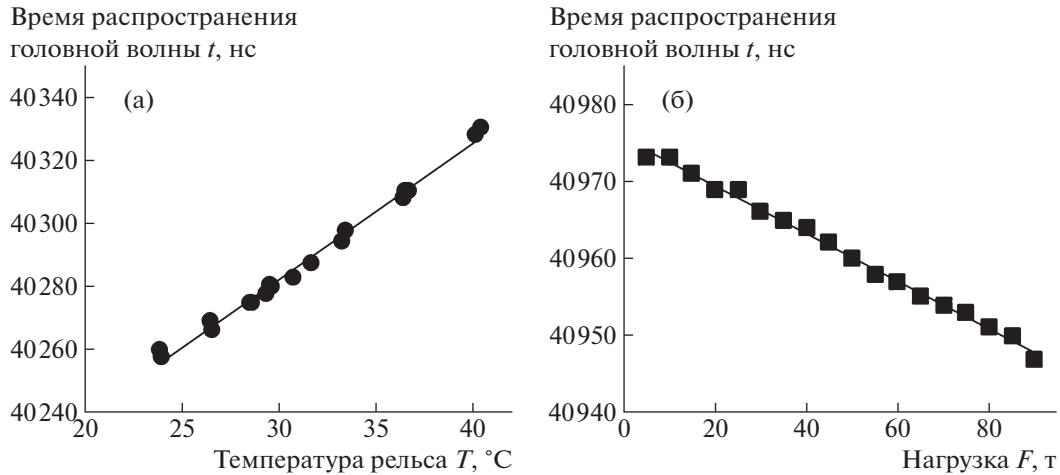


Рис. 3. Результаты лабораторных испытаний прибора: температурная зависимость времени распространения головной волны (а) и зависимость времени распространения головной волны от приложенной сжимающей нагрузки (б).

функциональных узлов, включая передатчик. Он выполнен на стандартных DC–DC-преобразователях с высоким КПД. Узел формирователя импульсов выдает сигналы (пачка импульсов с частотой повторения 20 Гц) для запуска передатчика, а также для формирования в узле приемников TTL-импульса, содержащего информацию о скорости распространения упругой волны в рельсе. Узел передатчика представляет собой двухтактный усилитель мощности, выполненный на мощных полевых транзисторах, он нагружен непосредственно на излучающий пьезоэлектрический преобразователь. Сигналы с приемных пьезоэлектрических преобразователей подаются в узел приемников на входы двух независимых приемников, в которых они усиливаются и далее поступают на быстродействующие компараторы. Временной промежуток между срабатыванием компараторов и является TTL-импульсом. Длительность этого импульса соответствует времени распространения упругой волны между первым и вторым приемными пьезоэлектрическими преобразователями. После компараторов сигнал поступает в АЦП и далее обрабатывается на планшете. Основные технические характеристики прибора отражены в табл. 1.

Результат измерения после обработки сигнала на планшете отображается в виде числового значения напряжения. Расчет напряжения происходит по формуле:

$$\sigma = \frac{1}{k_{\sigma}} \left(\frac{t - t_0}{t_0} - k_T (T - T_0) \right),$$

где t_0 – время распространения головной волны в материале без напряжения при температуре T_0 ,

t – время распространения головной волны в материале с напряжением σ при температуре T , k_{σ} – коэффициент акустоупругости, k_T – температурный коэффициент. Результаты лабораторных испытаний представлены на рис. 3.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПФ РАН на проведение фундаментальных научных исследований на 2021–2023 гг. по теме № 0030-2021-0025, регистрационный номер в ЕГИСУ НИ-ОКТР 121071600007-3. Опытный образец акустического тензометра создан в рамках договора № 45-358/707-903/2021 между ИПФ РАН и АО “НПП “ПОЛЕТ” от 23.06.2021, регистрационный номер в ЕГИСУ НИ-ОКТР 122081000081-7.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Szelągżek J.* // J Nondestruct Eval. 2013. V. 32. P. 188. <https://doi.org/10.1007/s10921-013-0172-1>
2. *Liu H., Li Y., Li T., Zhang X., Liu Y., Liu K., Wang Y.* // Appl. Acoust. 2018. V. 141. P. 178. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.07.017>

Адрес для справок: Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46; Институт прикладной физики РАН, сектор инновационных программ. E-mail: kir@ipfran.ru (Кириллов Алексей Геннадиевич), тел. +7(903) 601-46-96. E-mail: kurashkinkv@yandex.ru; imndt31@mts-nn.ru (Курашкин Константин Владимирович), тел. +7(952) 761-97-46. Дополнительная информация: <https://youtu.be/KDcx114pFz4>