

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРИБОФАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ДИСК-АВТОМОБИЛЬНАЯ ШИНА-АСФАЛЬТОБЕТОН» С ПОМОЩЬЮ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

¹Николаенко В.Л., ²Сечко Г.В.

¹Белорусский национальный технический университет, Минск

²Общество с ограниченной ответственностью Стрим центр, Минск

Введение. Для эффективного решения задач надежности наиболее ответственных компонентов машин и оборудования потребовалось создать трибофатику как комплексную дисциплину, возникшую на стыке теории надежности и теории механики усталостного разрушения машин и механизмов [1]. Объекты, исследуемые трибофатикой, было предложено назвать трибофатическими системами (ТФС). Среди задач ТФС, активно изучаемых в последние годы, выделяется проблема определения объемной повреждаемости (износа протектора автомобильной шины) в области контакта протектора и дорожного полотна из асфальтобетона в многоэлементной ТФС «диск-автомобильная шина-асфальтобетон» [2–4]. При этом следует отметить (наше мнение), что в [2–4] речь идет не столько о повреждаемости (термин, отсутствующий в ГОСТ [5]), сколько о долговечности. Дело в том, что использованный в [2–4] термин «повреждаемость» образован скорее всего от имеющегося в ГОСТ [5] термина «повреждение», а повреждение – это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного. Пример повреждения – на капоте работоспособного автомобиля со временем ухудшилось качество покраски, автомобиль не соответствует требованиям нормативно-технической документации в части окраски, но отлично едет. Следовательно, такой автомобиль согласно [5] находится в неисправном из-за повреждения, но работоспособном состоянии.

Названная проблема оценки износа протектора автомобильной шины очень сложна для решения ее математическими формулами, которые вывести практически невозможно из-за множества аргументов, часто взаимосвязанных друг с другом. Приведем пример. В работах [6, 7] 42 года назад была сделана попытка оценить долговечность металлизации интегральных схем с помощью времени сохранения работоспособности $T_{сохр}$. Выведенная результирующая формула для $T_{сохр}$ имеет вид:

$$T_{сохр} = (\beta + \alpha\tau)h_n(\alpha; \gamma) - \tau, \quad (1)$$

где α , β , τ , γ – параметры металлизации, зависящие от температуры и плотности протекающего тока, а h_n – минимальный корень уравнения

$$a(h_e^2 + \gamma)^3 + (3bn + ck + 2md)(h_e^2 + \gamma)^2 + n(cn + kd)(h_e^2 + \gamma) + \frac{1}{3}dn^3 = 0, \quad (2)$$

причем в (2) обозначено

$$a = 8h_n^4 + 20\alpha\gamma h_n^3 - 24\gamma h_n^2 - 15\alpha\gamma^2 h_n + 3\gamma^2, \quad (3)$$

$$b = 2h_n^3 + 4\alpha\gamma h_n^2 - 3\gamma h_n - \alpha\gamma^2, \quad (4)$$

$$c = 2h_n^2 + 3\alpha\gamma h_n - \gamma, \quad (5)$$

$$d = h_n + \alpha\gamma, \quad (6)$$

$$m = \alpha h_n^4 + 2(h_n^3 - \gamma h_n)(\alpha^2 \gamma - 1) + \alpha(\gamma - 6h_n^2), \quad (7)$$

$$n = \alpha h_n^2 + h_n(\alpha^2 - 1) - \alpha \gamma, \quad (8)$$

$$k = 2\alpha h_n^3 - 3h_n^2(\alpha^2 \gamma - 1) - 6\alpha \gamma h_n - \gamma(1 - \alpha^2 \gamma). \quad (9)$$

Несмотря на имеющиеся значения всех аргументов α , β , τ , γ оцениваемой величины $T_{сохр}$ выражение (1) в явном виде не решается, поэтому в [6, 7] для определения $T_{сохр}$ применена таблица, в которой значения найдены на компьютере с интервалом α от 0,00 до 50,00 через 0,25 и интервалом β от 0,000 до 0,060 через 0,005. Анализ формул (1) – (9) и сопровождающего их текста наглядно показывает, насколько сложна проблема оценки износа для решения ее математическими формулами.

Поэтому в [2–4] сходная по задачам проблема обоснованно решается с помощью компьютерного моделирования. Моделируется ТФС «диск-автомобильная шина-асфальтобетон» при задании в выбранных пределах внутреннего давления P_S в шине на поверхности S и радиальной нагрузки F_n , которая направлена вдоль оси ОУ и приложена к поверхности Н.

Формально под моделированием общепринято понимать замещение одного объекта (оригинала) другим (моделью) и фиксацию или изучение свойств оригинала путем исследования свойств модели. В свою очередь модель – это представление объекта, системы или понятия (идеи) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования. Польза от моделирования может быть достигнута только при соблюдении очевидного условия: модель адекватно отображает свойства оригинала, существенные с точки зрения цели исследования.

О точности и степени адекватности модели оригиналу в [2-4] ничего не сказано, поэтому в данной работе обсуждается предложение повысить точность модели путем эксперимента. Предложение пока чисто теоретическое, основано на изучении патентов США и выносится на обсуждение.

Общеизвестно, что в патентах содержится примерно 80 % всей научно-технической информации, опубликованной и публикуемой в мире. Патентная база США была выбрана как самое большое собрание патентов в мире (на сегодня примерно 10,5 миллиона) и самая быстрорастущая (за последних 50 лет ее объем вырос примерно в 3 раза).

Основная часть.

Описание эксперимента. В качестве эксперимента для проверки адекватности и оценки, а также повышения точности компьютерной модели ТФС «диск-автомобильная шина-асфальтобетон» предлагается следующий эксперимент: в шины реального автомобиля вставляются радиочастотные (RFID) метки. Перед экспериментом оценивается степень износа протекторов шин. Автомобиль проезжает некоторое расстояние по асфальтобетонной дороге, причем водитель следит по экрану компьютера, к которому подключен считыватель информации с метки, за тем, чтобы внутреннее давление в шинах и радиальная нагрузка соответствовали тем, которые были выбраны при компьютерном моделировании ТФС. После остановки автомобиля снова оценивается степень износа протекторов шин. Разность степени износа сравнивается с такой же при компьютерном моделировании, причем в модели задаются те параметры внутреннего давления P_S в шине на поверхности S и радиальной нагрузки F_n , которая направлена вдоль оси ОУ и приложена к поверхности Н. Если экспериментальные результаты совпали с результатами компьютерного моделирования, значит, модель полностью адекватна оригиналу – реальному процессу, происходящему в ТФС «диск-автомобильная шина-асфальтобетон». Если модель отлична от оригинала, значит, ее следует уточнять до тех пор, пока степень адекватности не достигнет некоторых заданных пределов.

Краткие сведения о радиочастотной идентификации. Принцип работы RFID-системы с меткой, реализующей технологию RFID, показан на рис. 1 [8].

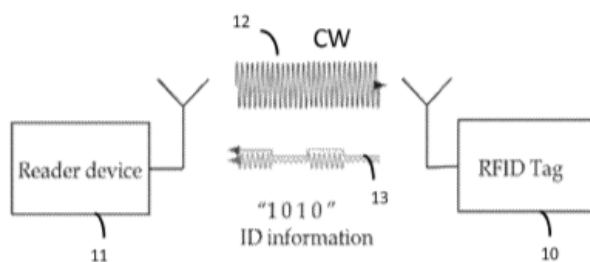


Рис. 1. Структура RFID-системы:

10 – метка; 11 – считыватель; 12 – сигнал, принятый меткой от считывателя; 13 – сигнал, отраженный меткой обратно в считыватель и содержащий данные об идентификации, ID information; CW – непрерывная волна (continuous wave)

Транспондер (поз. 10, он же RFID-метка или просто метка, он же RFID-tag), дополненный устройством считывания информации с него (поз. 11, оно же считыватель, оно же Reader device) в совокупности составляют RFID-систему. Считыватель RFID передает сканирование 12 непрерывной волны (CW, т. е. немодулированное) на назначенной частоте RF-связи, чтобы опросить удаленную метку RFID 10, и в ответ принимает RF-сигнал 13 автоматического обратного рассеяния, передаваемый меткой [8]. Более подробно технология RFID описана в монографии [10].

Предварительное обоснование возможности проведения эксперимента.

Возможность автоматического измерения давления в шинах подтверждается патентом [9] 2010 года (автор Хирохиса Сузуки (Suzuki; Hirohisa) с соавторами, патентовладельцы «Sanyo Electric Co., Ltd.» и «Akebono Brake Industry Co., Ltd.», Япония), в котором предлагается автоматическая система определения давления в шинах автомобиля с помощью RFID-меток (рис. 2). Система состоит из вспомогательной антенны (не показана), блока 6 датчиков (RFID-меток), установленных на каждой шине 4 автомобиля 2, и блоков 10 датчиков (RFID-считывателей), установленных рядом с каждой шиной в кузове 8 транспортного средства. Блок 6 датчиков (RFID-меток) определяет давление воздуха в шине и передает данные в RFID-считыватель. Каждый из считывателей уведомляет блок 12 управления транспортным средством о давлении воздуха в шине.

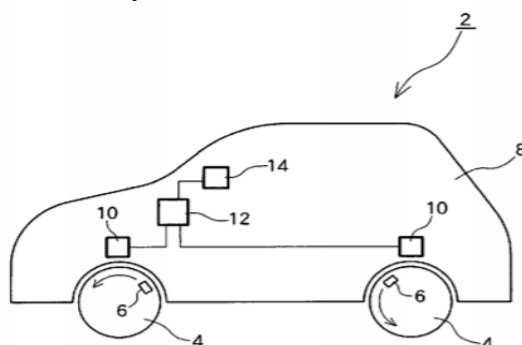


Рис. 2. Общая конфигурация системы определения давления в шинах из [7]

Блок 6 RFID-меток снабжен датчиком давления воздуха. Этот датчик накачки представляет собой датчик давления накачки емкости и представляет собой сенсорный элемент, который изменяет электрическую емкость C_s в соответствии с давлением накачки. В составные элементы шины встроена усилительная антенна, которая

уменьшает затухание колебаний электромагнитного поля, передаваемого между метками и считывателем.

Возможность автоматического измерения радиальной нагрузки подтверждается структурой полуактивной метки, показанной на рис. 3, который заимствован из монографии [10].

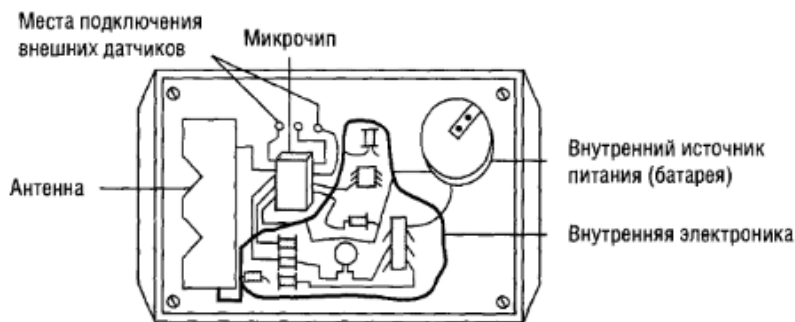


Рис. 3. Структура полуактивной метки

Как показано на рис. 4, в метке есть места подключения внешних датчиков, куда можно подключить и датчик радиальной нагрузки, запитываемый от внутреннего источника питания (батареи) метки.

Возможность подключения компьютера водителя автомобиля к считывателю (позиция II на рис. 1) информации с меток подтверждается структурой считывателя, показанной на рис. 4, который заимствован из монографии [10].

Как показано на рис. 4, в считывателе есть блок «интерфейс ввода-вывода», через который собранные данные о давлении в шинах и радиальной нагрузке могут быть переданы в компьютер. Таким образом, описанные выше технические средства радиочастотной идентификации позволяют провести эксперимент, описанный в начале основной части этой работы.

Заключение.

Как показано выше, выносимое на обсуждение предложение повысить точность моделирования трибофатической системы «диск-автомобильная шина-асфальтобетон» путем эксперимента может быть технически реализовано с помощью методов радиочастотной идентификации.

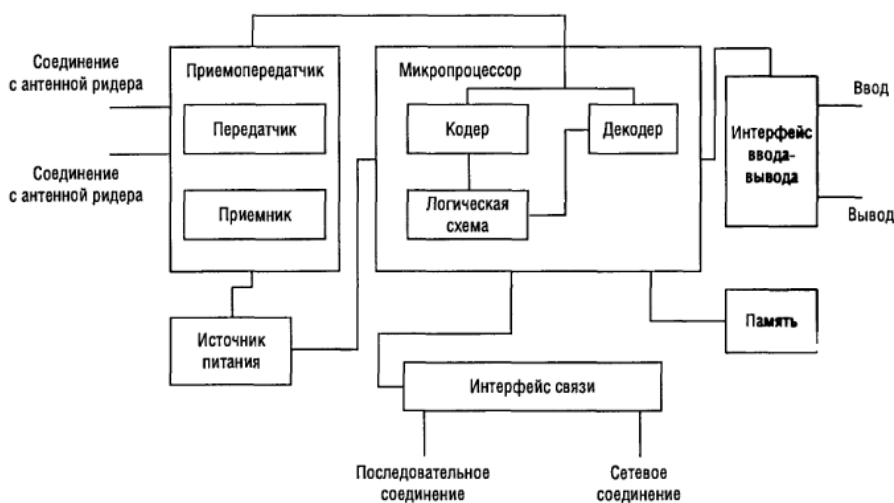


Рис. 4. Структура считывателя данных с меток

ЛИТЕРАТУРА

1. Щербаков, С. С. *Механика трибофатических систем* / С. С. Щербаков, Л. А. Сосновский. – Минск: БГУ, 2011. – 407 с.
2. Щербаков, С. С. *Объемная повреждаемость многокомпонентной системы «диск-автомобильная шина-асфальтобетон» при различных соотношениях радиальной нагрузки и внутреннего давления в шине* / С. С. Щербаков, Г. В. Грибовский // Межд. науч.-техн. сборник «Теоретическая и прикладная механика». – 2019. – Вып. 34.– Минск: БНТУ, 2019.– С. 307–313
3. Щербаков, С. С. *Напряженно-деформированное состояние многоэлементной системы «диск-шина-асфальтобетон» при различных соотношениях радиальной нагрузки и внутреннего давления в шине* / С. С. Щербаков, Г. В. Грибовский // Межд. науч.-техн. сборник «Теоретическая и прикладная механика». – 2018. – Вып. 33.– Минск: БНТУ, 2018.– С. 281–286.
4. Грибовский, Г. В. *Объемная повреждаемость трибофатической системы диск-многокомпонентная шина-асфальтобетон»* / Г. В. Грибовский, С. С. Щербаков // Межд. науч.-техн. сборник «Теоретическая и прикладная механика». – 2017. – Вып. 32.– Минск: БНТУ, 2017.– С. 277–282
5. *Надежность в технике. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89.* – Введ.01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 37 с.
6. Достанко, А. П. *Оценка надежности проводящих элементов ИС относительно эффекта массопереноса* / А. П. Достанко, Г. В Сечко, А. Н Смирнов // *Электронная техника.* – Серия 8 (Управление качеством, метрология и стандартизация. – 1977. – Вып. 2 (56). – С. 20–30.
7. Сечко, Г. В. *Разработка методов оценки времени сохранения работоспособности некоторых элементов автоматики и вычислительной техники: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.05 / Г. В. Сечко.* – Минск, 1978. – 209 с.
8. *Passive wireless sensor (пассивный беспроводной датчик): пат. США 10,140,566, МПК (Current International Class) G06K 19/07 (20060101), H04Q 9/00 (20060101), G06K 19/077 (20060101) / V. Viikari; заявитель Metso Oyj; заявл. 30.12.13; опубл. 27.11.18 // Портал патентного ведомства США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uspto.gov/>. – Дата доступа: 15.12.2019.*
9. *Tire sensor system and tire used for the same (Система датчиков шин и шина, используемая для того же): пат. США 7,859,393, МПК (Current International Class) B60C 23/00 (20060101) / H. Suzuki, H. Saito, E. Kuwako, T. Kunimi; заявитель Sanyo Electric Co., Ltd., Akebono Brake Industry Co., Ltd.; заявл. 17.04.06; опубл. 28.12.10 // Портал патентного ведомства США [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.uspto.gov/>. – Дата доступа: 15.12.2019.*
10. Лахири, С. *RFID. Руководство по внедрению = The RFID Sourcebook* / Лахири С. М. – М. : Кудиц-Пресс, 2007. – 312 с. / Оригинал: Lahiri, Sandip *RFID Sourcebook* / Sandip Lahiri. –New York, San Francisco and others: Prentice Hall PTR, 2005. – 304 p.