

УДК 67

Колбасин Александр Маркович

ФГОБУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»

Россия, Москва

Заведующей лаборатории «Автоматизация производственных процессов»

Кандидат технических наук

Доцент

alex081979@yandex.ru

Выбор измерителя кинематических параметров движения автомобильных шин на стенде КУИДМ-2 «Карусель»

Аннотация. В статье приводится метод измерения кинематических параметров движения автомобильных шин при испытании их на стенде с использованием эффекта Доплера локатора, излучающего любые по физической сущности колебания в широком диапазоне частот. Предложен метод выбора параметров радиолокатора: соотношения размеров антенны и длины волны электромагнитных колебаний, рабочей частоты локатора, ширины диаграммы направленности, высоты установки антенны над землей, которые следует производить из условий минимальной ширины и полного формирования диаграммы направленности антенны. А также требования к уменьшению веса и габаритов антенны, опорный сигнал передатчика, уменьшение чувствительности, повышению точности измерителя. Требование к уменьшению удельного веса и габаритов антенны ведет к использованию одной антенны для передачи и приема. Такое уменьшение чувствительности за счет шумов просачивающегося сигнала может быть скомпенсировано увеличением мощности передатчика или уменьшением расстояния от места крепления антенны до поверхности земли. Предлагается использовать радиолокатор с параболической антенной, работающей одновременно на прием и передачу, с непрерывным режимом излучения и непосредственным преобразованием принятого сигнала в напряжение доплеровской частоты.

Ключевые слова: эффект Доплера; износ шин; колееобразования; измерение параметров; поля электромагнитных волны; длина волны; параболические антенны.

В Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ) разработан стенд для испытаний дорожных покрытий и автомобильных шин КУИДМ-2 «Карусель», представляющий собой две скрещенные под углом в 90° балки на концах которых находятся колеса с приводом и имитирующего движение автомобиля в реальных условиях эксплуатации.

Для измерения кинематических параметров движения автомобильных шин на стенде используется эффект Доплера локатора, излучающего любые по физической сущности колебания в широком диапазоне частот. Возможно использование как звуковых или ультразвуковых локаторов, так и радиолокаторов или лазеров. Передача звуковых и ультразвуковых колебаний обусловлена упругими связями между отдельными частицами среды, в которой происходит распространение волны.

На распространение звуковых волн в реальной атмосфере и на ход лучей большое влияние оказывает состояние атмосферы: температура, ветер, осадки и т.д. Это обстоятельство делает нежелательным применение акустических локаторов для измерений на стенде «Карусель», т.к. при его вращении возникает встречный воздушный поток, скорость которого геометрически складывается со скоростью звуковой волны, что приводит к изменению формы ее фронта, скорости и направления падения. Причем, в зависимости от скорости и режима движения (криволинейная траектория), изменение скорости воздушного встречного потока будет изменять скорость звуковой волны и углы ее падения на поверхность дороги, что приведет к шумовой флюктуации частоты Доплера и сделает невозможным ее точное измерение.

На распространение электромагнитных волн внешние условия не влияют, следовательно, для измерений на стенде надо использовать либо радиолокатор, либо лазер, в зависимости от выбранного диапазона волн.

Применение локатора для измерения параметров движения и специфика его установка на стенде определяют диапазон излучаемых частот.

При выборе рабочей частоты локатора надо руководствоваться тем, чтобы при всех скоростях движения автомобиля величина доплеровского сдвига частоты лежала в области технически легко определяемых звуковых частот. Выбирая значения радиальной скорости вращения стенда близким к реальным скоростям движения автомобиля, определим частоту Доплера. Для диапазона длинных волн (таблица) и скорости движения $V=60$ км/час эта частота $F_d=334 \cdot 10^{-4}$ гц.

Таблица 1

Определение частоты Доплера

Название диапазона	Длинные волны	Средние волны	Короткие волны	Ультракороткие волны	Радиоволны опич. диапазона
Длина волны в свободном пространстве м	$10 \cdot 10^3 - 1000$	1000-100	100-10	10-1 1-0.1 0.1-0.01 0.01-0.001	$1 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-7}$

В диапазоне средних волн, при $\lambda=100$ м и $V = 60$ км/час. $F_d = 0,334$ гц, а в диапазоне коротких волн при $\lambda = 10$ м, $V = 60$ км/час значения частоты Доплера $F_d = 3.34$ гц.

При работе локатора в диапазоне длинных, средних и коротких волн доплеровский сдвиг частоты настолько мал, что выделить его практически невозможно. Будем считать, что частота Доплера может быть измерена с достаточной степенью точности, если ее значения при

всех возможных скоростях движения автомобиля лежат выше 100 гц. Выделение более низких частот связано с ошибкой в измерении, так как диапазон низких частот характеризуется высоким уровнем шумов приемника и передатчика.

Выбор $F_{д.мин}=100$ гц приводит к ограничению сверху длины волны излученных колебаний дециметровым поддиапазоном волн, при этом λ должна быть не более 5-10 см. Ограничение длины волны снизу связано с непомерным возрастанием частоты при уменьшении λ . Действительно, в оптическом диапазоне волн при $\lambda = 10 \cdot 10^{-7}$ см и скорости движения 80 км/час, частота Доплера составляет 45 мгц. Выделение частоты в 45 мгц представляет собой более трудную техническую задачу, чем выделение частот в сотни килогерц. Поэтому для измерителя параметров движения стенда необходимо выбрать локатор с излучаемыми колебаниями в миллиметровом или сантиметровом диапазонах. Более конкретный выбор длины волны можно сделать, руководствуясь следующими соображениями.

Излучение электромагнитных волн осуществляется антенной, основной характеристикой которой является диаграмма направленности (ДН). Она имеет главный лепесток, с сосредоточенным в нем основным потоком энергии излучения, и боковые лепестки, которые являются паразитными по расходу мощности и приводят к повышению уровня помех. Диаграмма направленности характеризуется шириной, равной углу φ^0 , в пределах которого напряженность электромагнитного поля уменьшается в 2 раза.

От ширины диаграммы направленности антенны зависит точность измерения частоты, а, следовательно, и точность измерения параметров движения. Для повышения точности измерений необходимо стремиться к сужению луча антенны.

В сантиметровом и миллиметровом диапазоне волн применяются остронаправленные антенны с направляющими (излучающими) поверхностями. Самым распространенным излучателем такого типа является антенна с параболическим рефлектором, для которой ширина диаграммы направленности определяется как:

$$\varphi^0 = \frac{6s\lambda}{D}$$

где D - диаметр излучателя антенны; λ - длина волны излучателя; s - площадь излучателя.

Основным условием формирования узкой диаграммы направленности является высокая частота или большой размер раскрытия антенны. Например, на чистоте 70000 мГц с помощью антенны с параболическим отражателем, диаметр которого равен 30 см, можно получить луч шириной Γ^0 . Для получения той же ширины луча на частоте 25 мГц потребовалась бы антенна диаметром $D=1$ км.

Для удобства установки антенны на вращающемся стенде, необходимо иметь небольшой диаметр излучателя и для сужения диаграммы направленности надо уменьшить длину волны излучаемых колебаний.

Зависимость размера антенны D от длины волны для разных значений ширины ДН представлена на рис.2.

Выбор соотношения размеров антенны и длины волны электромагнитных колебаний должен производиться также с учетом условия полного формирования диаграммы направленности антенны.

Формирование ДН происходит на некотором расстоянии от излучателя. Пространство около антенны разделяется на две зоны: ближнюю зону, протяженность которой составляет несколько диаметров антенны и где луч еще не сформирован, и дальнюю зону, которая

начинается на расстояниях, удаленных от антенны на $\frac{D^2}{\lambda}$, и где ДН полностью сформирована и имеет ширину φ° .

Радиолокаторы работают в дальней зоне, поэтому удаление антенны от поверхности земли, определяется как:

$$R = \frac{D^2}{\lambda}.$$

При установке антенны на стенде это расстояние мало, и выполнение этого условия связано с увеличением длины волны, что ведет, однако, к расширению диаграммы направленности и снижению точности измерения.

Зависимость расстояния $R_{до}$ дальней зоны от угла наклона луча антенны к земле при разных высотах h ее установки на стенде представлена на рис.1. На рис.2 показаны зависимости основных параметров локатора (D, φ°, R) от длины волны, с помощью которых можно произвести конкретный выбор рабочей частоты локатора

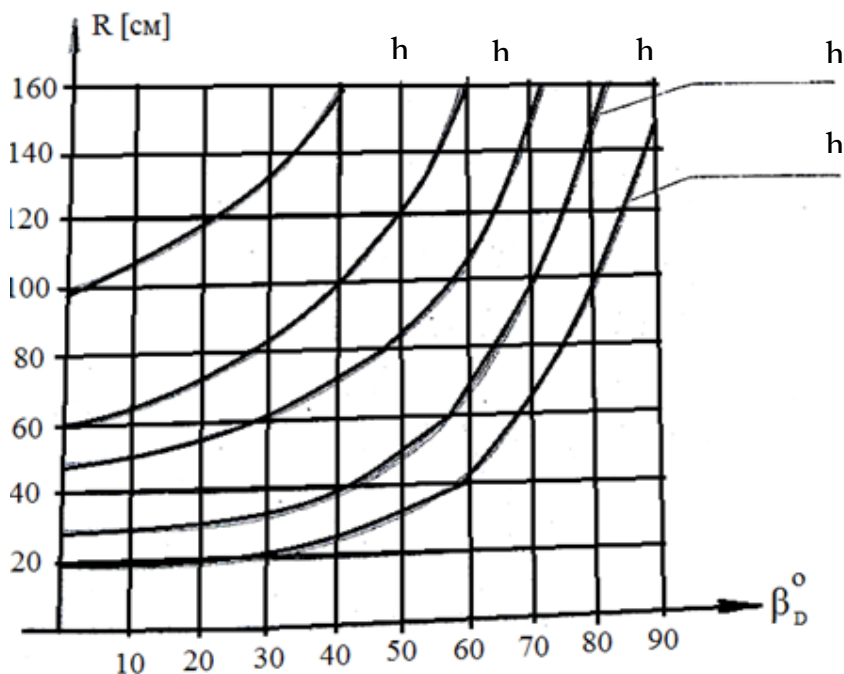


Рис.1. К условию формирования диаграммы направленности антенны

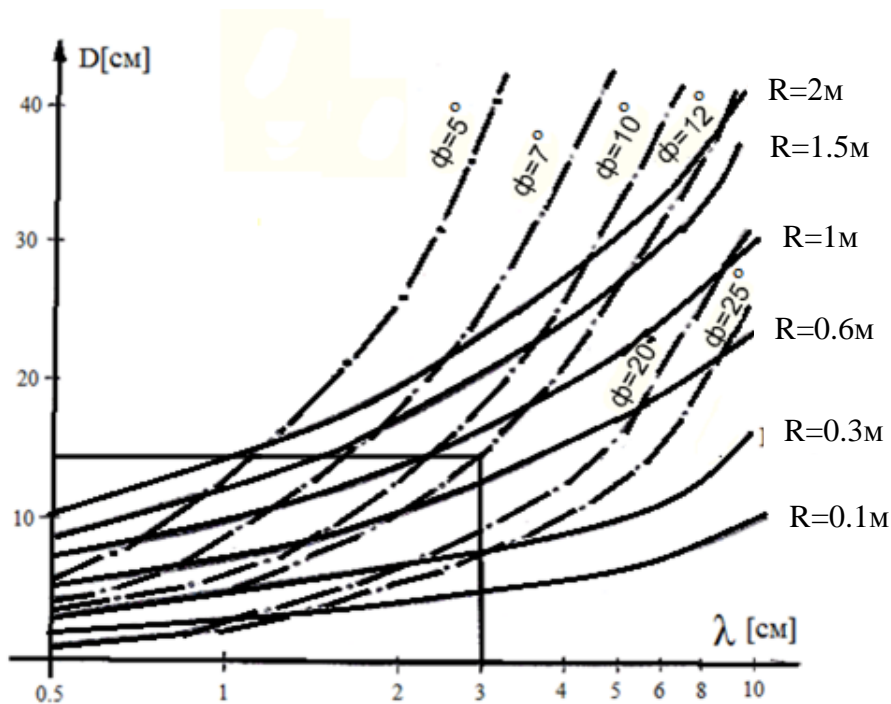


Рис. 2. Выбор параметров радиолокатора

Антенна, является одной из важных частей измерителя. От ее типа и конструкции зависят основные параметры измерителя и, в первую очередь, точность. Тип антенны определяется ее назначением и зависит от рабочего диапазона волн.

Антенна измерителя параметров движения стенда должна отвечать следующим требованиям: работать в ультракоротковолновом диапазоне, обладать узкой диаграммой направленности; иметь малый вес и габариты, уровень боковых лепестков диаграммы направленности должен быть минимальным.

Необходимость выполнения первых двух требований вызвана стремлением к повышению точности измерителя. Наиболее распространенной антенной сантиметрового и миллиметрового диапазона является антенна с параболическим зеркалом. Хорошая направленность таких антенн определяется фокусировкой излучаемого (или принимаемого) поля электромагнитной волны с помощью рефлекторов методами, аналогичными оптическим, Параболические антенны позволяют получить узкую диаграмму направленности при сравнительно небольших размерах рефлектора.

Требование к уменьшению веса и габаритов антенны ведет к использованию одной антенны для передачи и приема. В системах с непрерывным излучением это возможно, так как развязка приемного и передающего сигнала достигается путем частотного разделения в результате эффекта Доплера. Кроме того, при одной антенне упрощаются условия смещения приемного и полученного сигналов, необходимых для выделения частоты F_d , т.к. в этом случае требуемый опорный сигнал передатчика поступает в приемник в виде просачивающегося сигнала и не требует отдельного ввода в приемник части сигнала передатчика.

Однако следует отметить, что вместе с сигналом передатчика на вход приемника просачиваются и его шумы, обусловленные дробовым аффектом, вибрациями элементов передатчика, флюктуациями питающих напряжений и т.д. Поэтому общий уровень шумов увеличивается и чувствительность измерителя падает.

Такое уменьшение чувствительности за счет шумов просачивающегося сигнала может быть скомпенсировано увеличением мощности передатчика или уменьшением расстояния от места крепления антенны до земли.

Высокая жесткость антенного тракта необходима потому «что вибрации его приводят к паразитной модуляции высокочастотного сигнала, а, следовательно, к повышению уровня шумов на входе приемника измерителя.

Уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны должен быть небольшим, чтобы обеспечить надежное превышение сигнала, принятого по основному лепестку диаграммы над сигналом боковых лепестков. Развязка между лучами считается достаточной при уровне боковых лепестков не более 5%.

Таким образом для измерений кинематических параметров движения автомобильных шин на стенде «Карусель» необходимо использовать радиолокатор с параболической антенной, работающей одновременно на прием и передачу, с непрерывным режимом излучения и непосредственным преобразованием принятого сигнала в напряжение доплеровской частоты.

У предлагаемого локатора распространение электромагнитных волн, не зависит от внешних условий, а наилучшая длина волны излучаемых колебаний должна лежать в миллиметровом или сантиметровом диапазоне. Выбор параметров радиолокатора (длины волны, размера антенны, ширины диаграммы направленности, высоты установки антенны над землей) следует производить из условий минимальной ширины и полного формирования диаграммы направленности антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мещеряков К. Г. Проблема колееобразования и современные методы борьбы с ней Доклады 64 Научной конференции профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета, Санкт-Петербург, 2007. Ч. 2. СПб: СПбГАСУ. 2007, с. 18-20. Рус.
2. Кушвид Р. П. Прогнозирование износа шин автомобиля в процессе эксплуатации Современные тенденции развития автомобилестроения в России: Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, Тольятти, 26-28 мая, 2004. Т. 2. Тольятти: Изд-во ТолГУ. 2004, с. 28-33, 4 ил., табл. 2 ил.. (Сб. тр. ТолГУ. N 4). Библи. 2. Рус.
3. Баринов Е. Н. Оценка и прогнозирование износостойкости дорожных асфальтобетонных покрытий Вестн. Отд-ния "Трансп. стр-во" Акад. трансп.. 1994, N 2, с. 45-46. Рус.
4. Закурдаев Е. И., Войцев А. И., Ефимов С. В., Кондрашов И. И., Матафонов В. П. Стенд для испытания на износ пары колесо-дорожное покрытие на полигоне А.с. 1285346 СССР, МПК G 01 N 3/56. Хабар. фил. Гос. дор. проектр.-изыскат. и НИИ.. N 3654669/25-28; Заявл. 16.09.83; Оpubл. в Б.И., 1987, N3.
5. Тейлор Р. Измерения радиолокационных отражений от земной поверхности на частотах 10; 15; 35 ГГц. -Зарубежная радиоэлектроника
6. Дербаремдикер А.Д., Кручинин П.А. О подавлении параметрических колебаний управляемых колес. || Вестник МГУ, Мехмат, 1985. №3, стр. 56-61.
7. Кнороз В.И., Кленников В.М. Экспериментальные данные о боковой эластичности шин легковых автомобилей. В сб.
8. Левин М.А., Фуфаев Н.А. Теория качения деформируемого колеса. М.: Наука, 1967. 269 с.
9. Тураев Х.Т., Фуфаев Н.А. О влияние углов наклона шкворней на устойчивость движения управляемых колес автомобиля. АП., 1972, №9, стр. 23-25.
10. Басс С. Г., Фукс И. М. Рассеяние волн на статистически неровной поверхности. М.: Наука, 1972, - 424 с. Зубкович С. Г. Статистические характеристики радиосигналов, отраженных от земной поверхности. М.: Сов. радио, 1970, -224 с.

Рецензент: Остроух Андрей Владимирович, д.т.н. профессор, МАДИ.

Alexandr Kolbasin

The Moscow state automobile and road technical university
Russia, Moscow
alex081979@yandex.ru

Choice of meter kinematic parameters movements road tires on the stand «KUIDM-2»

Abstract. The article provides a method of measuring the kinematic parameters of motion tire when tested on the bench using Doppler radar emitting any physical nature of oscillations in a wide frequency range. Proposed a method for selecting parameters radar (wavelength antenna size, beam width, antenna height above ground), which should be made of the conditions for the minimum width and full beamforming. And so the same requirements for the reduction of the weight and dimensions of the antenna, the reference signal transmitter, reducing sensitivity, improving the accuracy of the meter. The requirement to reduce the specific gravity and size of the antenna leads to the use of a single antenna for transmission and reception. Such reduction in sensitivity due to the leakage of noise signal can be compensated by an increase in transmitter power or decreasing distance from the attachment of the antenna to the ground surface. It is proposed to use the radar with a parabolic antenna operating simultaneously transmit and receive, for continuous duty radiation and direct conversion of the received signal to a voltage of the Doppler frequency.

Keywords: Doppler effect; tire wear; rutting; measurement parameters; the field of electromagnetic waves; wavelength; Parabolic Antennas.

REFERENCES

1. Meshherjakov K. G. Problema koleeobrazovanija i sovremennye metody bor'by s nej Doklady 64 Nauchnoj konferencii professorov, prepodavatelej, nauchnyh rabotnikov, inzhenerov i aspirantov universiteta, Sankt-Peterburg, 2007. Ch. 2. SPb: SPbGASU. 2007, s. 18-20. Rus.
2. Kushvid R. P. Prognozirovanie iznosa shin avtomobilja v processe jekspluatacii Sovremennye tendencii razvitija avtomobilestroenija v Rossii: Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem, Tol'jatti, 26-28 maja, 2004. T. 2. Tol'jatti: Izd-vo TolGU. 2004, s. 28-33, 4 il., tabl. 2 il.. (Sb. tr. TolGU. N 4). Bibl. 2. Rus.
3. Barinov E. N. Ocenka i prognozirovanie iznosostojkosti dorozhnyh asfal'tobetonyh pokrytij Vestn. Otd-nija "Transp. str-vo" Akad. transp.. 1994, N 2, s. 45-46. Rus.
4. Zakurdaev E. I., Vojcev A. I., Efimov S. V., Kondrashov I. I., Matafonov V. P. Stend dlja ispytaniya na iznos pary koleso-dorozhnoe pokrytie na poligone A.s. 1285346 SSSR, MPK G 01 N 3/56. Habar. fil. Gos. dor. proektr.-izyskat. i NII.. N 3654669/25-28; Zajavl. 16.09.83; Opubl. v B.I., 1987, N3.
5. Tejlor R. Izmerenija radiolokacionnyh otrazhenij ot zemnoj poverhnosti na chastotah 10; 15; 35 GGc. -Zarubezhnaja radiojelektronika.
6. Derbaremdiker A.D., Kruchinin P.A. O podavlenii parametricheskikh kolebanij upravljaemyh koles. || Vestnik MGU, Mehmat, 1985. №3, str. 56-61.
7. Knoroz V.I., Klennikov V.M. Jeksperimental'nye dannye o bokovoj jelastichnosti shin legkovyh avtomobilej. V sb.
8. Levin M.A., Fufaev H.A. Teorija kachenija deformiruемого kolesa. M.: Nauka, 1967. 269 s.
9. Turaev H.T., Fufaev H.A. O vlijanie uglov naklona shkvornej na ustojchivost' dvizhenija upravljaemyh koles avtomobilja. AP., 1972, №9, str. 23-25.
10. Bass S. G., Fuks I. M. Rassejanie voln na statisticheski nerovnoj poverhnosti. M.: Nauka, 1972, - 424 s.37.Subkovich S. G. Statisticheskie harakteristiki radiosignalov, otrazhennyh ot zemnoj poverhnosti. M.: Sov. radio, 1970, -224 s.