

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.509.324.3 + 535.39

Э.А. Вагнер, А.В. Ефремов, А.Ф. Жуков, А.Р. Пенарт, Р.Ш. Цвык

РАДИООПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ДОРОГИ

Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск

Поступила в редакцию 23.04.99 г.

Принята к печати 08.06.99 г.

Предложен радиооптический метод определения состояния поверхности дороги. В оптической части состояние поверхности определяется по степени деполяризации излучения, отраженного от поверхности дороги. Причем на поверхность направляется линейно поляризованное излучение. Приведены результаты модельных испытаний на асфальте, покрытом снегом, льдом и снежно-водяной смесью. Радиоволновая часть устройства дает возможность обнаружить наличие льда под слоем снега.

Введение

Надежность эксплуатации транспортных средств во многом зависит от состояния поверхности дороги (СПД). В связи с этим важно правильно диагностировать СПД, а также уметь прогнозировать его с учетом естественных изменений физических процессов, которые так или иначе влияют на поверхность дорог. В целом прогноз СПД представляет собой сложную задачу, для решения которой требуется прежде всего правильно учесть возможные изменения метеословий (прогноз погоды), физико-химические свойства дороги и ее конкретное местоположение. Поскольку прогноз погоды дается в лучшем случае для отдельных районов, то и прогноз состояния СПД для конкретной местности не будет точным. Кроме того, СПД зависит от интенсивности движения автотранспорта.

С учетом этого обстоятельства особую важность приобретает оперативная диагностика СПД с помощью специальных приборов, устанавливаемых на опасных участках дороги или транспортном средстве. Несомненно, окончательное решение о СПД принимает водитель. Однако это решение не всегда объективное, особенно в сложных или быстро меняющихся условиях, например при гололеде, покрытом снегом или мокром асфальте.

К настоящему времени для диагностики СПД предложены различные устройства, основанные на механических измерениях сцепных свойств дороги [1], измерениях электрической проводимости поверхности дороги [2] или на сочетании измерений проводимости и температуры поверхности дороги и других измерений [3]. Имеется ряд предложений использовать для обнаружения льда электромагнитные волны радиодиапазона [4] и оптическое излучение [5].

По разным причинам ни один из предложенных методов не нашел пока практического применения. Главная причина этого, по мнению авторов, заключается в неоднозначности принимаемого решения. Например, электрическая проводимость льда и сухого асфальта почти одна и та же, что не позволяет различать эти два весьма разных состояния дороги только по одному параметру. Легко убедиться в том, что оптический метод не позволяет диагностировать лед под снегом, а это весьма опасное состояние дороги. Достаточно всего нескольких сантиметров снега,

чтобы «оптически» скрыть подстилающую поверхность [6]. Имеются и другие причины, например увеличение стоимости автотранспорта при установке датчиков СПД. Однако, по убеждению авторов, существенное повышение безопасности движения должно оправдать дополнительные затраты при оснащении транспортных средств.

В этой работе предложен радиооптический метод измерения СПД. Он объединяет достоинства оптического и радиоволнового методов и тем самым расширяет возможности диагностики СПД. По-видимому, уместно подчеркнуть, что обсуждаемая проблема возникает и в случае диагностики поверхности взлетно-посадочных полос аэродромов.

Оптическая методика диагностики СПД

Поверхность дороги представляет собой некоторую шероховатую поверхность, которая существенно изменяется в зависимости от различных погодных условий. Эта неровность дороги особенно хорошо видна при освещении. В связи с этим проблема, в сущности, состоит в оперативной оценке шероховатости поверхности дороги. С давних пор для оценки шероховатости поверхности используются оптические методы, особенно поляризационные, в которых поверхность облучается поляризованным излучением. Обзор поляризационных методов, используемых в науке и технике, приведен в [7]. Некоторые из них пригодны для диагностики СПД. Однако для их применения необходимы специальные расчеты и полевые измерения в различных погодных условиях. Это может стать предметом отдельных исследований.

В данной статье рассмотрены результаты модельных исследований. Блок-схема модельной установки приведена на рис. 1. На поверхность асфальта направляется пучок линейно поляризованного излучения. Отраженное от асфальта излучение проходит через линзу, поляризационный анализатор и принимается фотоприемником, сигнал с которого измеряется цифровым вольтметром.

В качестве источника излучения использовался лазер ЛГН-207Б мощностью излучения 1 мВт, с длиной волны 0,63 мкм, полным углом расходимости $2,2 \cdot 10^{-3}$ рад, линейной поляризацией 500 : 1. Приемник излучения – фотомножитель ФЭУ-79. Диаметр пучка на поверхности

асфальта равен 15 см, угол падения $\beta \approx 0,5^\circ$. При измерениях анализатор, установленный перпендикулярно оптической оси пучка излучения, дискретно вращался вокруг этой оси. Таким образом, измерялась круговая диаграмма степени поляризации излучения, отраженного от поверхности.

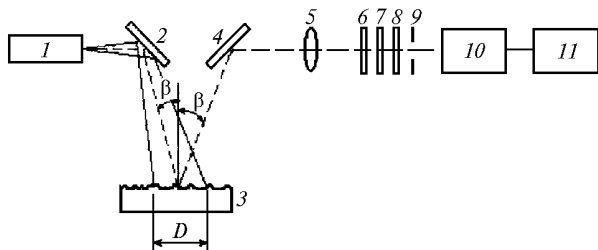


Рис. 1. Блок-схема модельной установки: 1 – лазер; 2, 4 – плоские зеркала; 3 – асфальт; 5 – линза; 6, 7, 8 – интерференционный, нейтральный фильтры и поляризационный анализатор; 9 – диафрагма; 10 – приемник; 11 – цифровой вольтметр

Основная суть оптических измерений состояла в установлении степени деполаризации отраженного излучения $N = I_{\min}/I_{\max}$ в зависимости от состояния поверхности асфальта размером не менее 30 см. Измерения проводились в неотапливаемом помещении с температурным режимом, близким к естественной атмосфере, с чистой поверхностью асфальта, а также покрытой снегом, снежно-водяной смесью и водой, которая при охлаждении поверхности переходила в лед. На рис. 2 приведена диаграмма изменения степени поляризации отраженного излучения $N(\varphi) = I(\varphi)/I_{\max}$ в зависимости от угла поворота анализатора $\varphi = 0 \div 360^\circ$ для различных СПД. Направление $0-180^\circ$ совпадает с плоскостью поляризации излучения лазера.

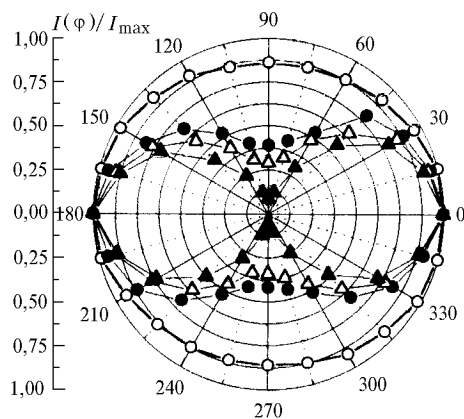


Рис. 2. Круговая диаграмма степени поляризации излучения, отраженного от поверхности асфальта, при различных состояниях поверхности: —○— сухой асфальт; —●— снег; —△— мокрый асфальт; —▲— лед

Из рис. 2 видна явная зависимость степени деполаризации отраженного излучения от состояния поверхности асфальта. Более того, как и следовало ожидать, значения I_{\min} достигаются для всех состояний поверхности при угле $\varphi \approx 90^\circ$, так что нет необходимости измерять диаграмму поляризации, а достаточно проводить измерения при углах, совпадающих с направлением плоскости поляризации лазера ($\varphi \approx 0^\circ$) и перпендикулярно ей ($\varphi \approx 90^\circ$). В таблице

приведены измеренные уровни степени деполаризации излучения N и обратной величины N_1 для различного состояния поверхности дороги. Таким образом, из наших предварительных данных следует, что величина N варьирует в пределах $0,9-0,04$ (N_1 от 1,1 до 25). Это не очень большие изменения, но они позволяют гарантировано различать снег, воду или лед на асфальте. Важно и то, что явно определяется наличие льда, который создает особо опасную ситуацию для движущегося транспорта.

Степень деполаризации отраженного излучения

СПД	$N = I_{\min}/I_{\max}$	$N_1 = I_{\max}/I_{\min}$
Асфальт сухой, влажный охлажденный	$0,40 \div 0,33$	$2,5 \div 3$
Снег, снежно-водяная смесь	$0,90 \div 0,7$	$1,1 \div 1,5$
Вода на асфальте	$0,30 \div 0,25$	$3,4 \div 4,6$
Лед	$0,22 \div 0,06$	$4,7 \div 15$
Лед, покрытый водяной пленкой	$0,06 \div 0,04$	$16 \div 25$

Вполне очевидно, что оптические методы не могут дать информацию о СПД, когда дорога покрыта слоем вещества (например, снега), в котором оптическое излучение сильно поглощается или сильно отражается поверхностным слоем. В частности, как уже отмечалось, оптическим методом нельзя обнаружить лед, покрытый слоем снега. В этих условиях мы предлагаем использовать волны радиодиапазона.

Радиоволновой метод диагностики СПД

Определение льда под слоем снега на автодорогах должно мотивироваться следующими обстоятельствами:

а) лед покрыт снегом такой толщины, что, проезжая по нему, протекторы автомобиля вступают в непосредственный контакт со льдом, т.е. возможны занос автомобиля и потеря управления;

б) протекторы не продавливают слой снега. В этом случае безразлично, что под слоем снега – асфальт, лед или бетон.

В случае «а» возможно применение радиоволновых датчиков. Причем наиболее перспективными, на наш взгляд, являются два пути получения информации о состоянии дорожного полотна.

1. Измерение уровня генерации автогенератора от вносимого сопротивления в антенну.

Автогенератор работает в режиме мягкого самовозбуждения. Его контур нагружен на передающую антенну. Частотно-задающий контур имеет трансформаторную связь с приемным контуром.

Передающая антенна представляет собой полуволновой вибратор. В зависимости от вносимого сопротивления в антенну меняется его нагрузочная характеристика. Так как автогенератор работает в мягком режиме самовозбуждения, то это приводит к изменению уровня генерации, что, в свою очередь, изменяет уровень сигнала на приемном контуре, нагруженном на амплитудный детектор. Поэтому на всем протяжении льда на дорожном покрытии на выходе амплитудного детектора будет присутствовать сигнал, отличающийся от сигнала, идущего от покрытия, на котором льда нет. Практика показала, что наибольшей чувствительностью такие датчики обладают, когда расстояние от передающей антенны до обследуемой поверхности лежит в пределах от $0,1$ до $0,2\lambda$, где λ – длина волны, излучаемая антенной.

2. Фиксация изменения диэлектрической проницаемости ϵ на границе раздела двух сред.

Известно, что если относительно передающей антенны A (рис. 3) расположить две приемные антенны B и C таким образом, что принимаемые ими сигналы как прямого прохождения, так и отраженные от однородной поверхности после детектирования были бы равны, т.е. $U_1 = U_2$, то при движении датчика в направлении, указанном стрелкой на границе раздела асфальт – лед, ϵ изменится скачком, скачком изменится и уровень отраженного сигнала, принимаемого антенной C . Это в свою очередь приводит к резкому изменению уровня U_2 по отношению к U_1 , что и было зафиксировано.

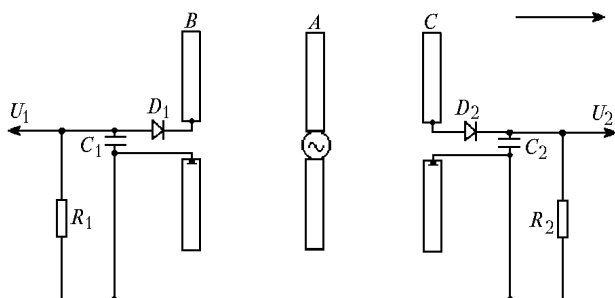


Рис. 3. Блок-схема метода фиксации изменения диэлектрической проницаемости на границе раздела двух сред: A – передающая антенна, B и C – приемные антенны

Выводы

Проведенный сравнительный анализ предлагаемого радиооптического датчика и известных нам устройств показывает, что этот датчик может успешно использоваться наряду с другими для диагностики состояния поверхности дороги. Для этого необходимо объединить в единое устройство оптический и радиоволновой датчики и провести исследования конкретного устройства с одновременным измерением сцепных характеристик дороги и ее шероховатости. Мы надеемся, что такой датчик сможет определить опасные участки дороги и выдать необходимую информацию водителю и (или) вычислительному устройству для выбора оптимальной скорости движения и момента торможения. Мы не видим принципиальных ограничений для создания радиооптического датчика и использования его на движущемся транспорте.

1. Васильев А.М. Проектирование дорог с учетом влияния климата на условия движения. М.: Транспорт, 1986. 248 с.
2. Егин Н. Торможение на скользкой дороге // Изобретатель и рационализатор. 1984. N 9. С. 16–17.
3. Naavasaja T., Oy V. Remote sensing of road surface condition // III international road weather conference. Tampere, 1987. С. 144.
4. Подземный радиолокатор // Наука и жизнь. 1995. N 1. С. 11.
5. Способ и устройство для определения состояния поверхности дорожного полотна. Пат. 4300896, Германия. ИСМ. 1995. N 19. С. 4.
6. Baker D.G., Rusahy D.L. Snow doph required to musk the underlying surface // J. Appl. Meteor. 1991. V. 30. P. 387–392.
7. Швец В.А., Рыхлицкий С.В. Метод эллипсометрии в науке и технике // Автотметрия. 1997. N 1. С. 5–21.

E.A. Vagner, A.V. Efremov, A.F. Zhukov, A.R. Penart, R.Sh. Tsvyk. **Radiooptical Method for Diagnostics of a Road Surface State.**

A radiooptical method is proposed for estimation of a road surface state. Optically, the surface state is determined from the degree of depolarization of the radiation reflected from the road surface. The radiation incident on the road surface is therewith polarized. Such types of the surface as snow, ice, and melting snow are under study. A presence of ice under snow layer is detected by means of radiowaves.