

УДК 625.768.5

И.В.Кияшко, А.Ю.Пархоменко

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФАЗОВОГО АКУСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА УСТРОЙСТВА ЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Рассмотрены теоретические аспекты использования метода спектрального анализа поверхностных волн для контроля качества устройства цементобетонных слоев дорожной одежды. Приведены зависимости параметров распространения волновых полей от физико-механических свойств материала.

Ключевые слова: цементный бетон, неразрушающий контроль качества, модуль упругости, волна Релея, дисперсионная кривая.

В условиях постоянного возрастания интенсивности движения, с увеличением доли транспортных средств повышенной грузоподъемности в составе транспортного потока при конструировании дорожной одежды, для повышения её работоспособности и несущей способности, используют слои жесткого и полужесткого типа в качестве слоев основания или покрытия. Основное преимущество дорожных одежд с цементобетонными покрытиями заключается в том, что при незначительно большей стоимости по сравнению с альтернативными асфальтобетонными покрытиями, они обеспечивают вдвое больший срок службы. Уровень надежности цементобетонного слоя в период эксплуатации в значительной степени зависит от свойств используемого материала на этапе приготовления смеси, факторов технологического порядка, а главным образом, от создания благоприятных условий при твердении бетона в период структурообразования. Контроль качества устройства цементобетонных слоев главным образом сводится к мониторингу процесса набора прочности слоя и его толщины. В мировой практике разработка и использование методов неразрушающего контроля качества продукции является одним из приоритетных направлений. Среди направлений неразрушающего контроля качества устройства дорожных одежд жесткого типа, перспективным становится разработка и использование акустической группы методов, среди которых наиболее актуальным является фазовый акустический метод, за рубежом получивший название метода спектрального анализа параметров распространения поверхностных волн (SASW – Spectral Analysis of Surface Waves) [1]. Данный метод нашел широкое применение при геологической разведке земных недр еще в середине 50-х годов прошлого столетия.

Суть метода лежит в оценке изменения параметров распространения поверхностных волн от точки возбуждения до некоторой точки среды, которая контролируется. Изменение этих параметров определяется исключительно свойствами материала на пути распространения колебаний. Очевидно, что энергия механических колебаний в любой среде передается посредством физического взаимодействия структурных частиц, составляющих эту среду. При ударном воздействии на конструкцию, в ней возникает волновое поле (рисунок 1), которое характеризуется широким диапазоном частот и равным распределением энергии колебаний по всем частотным составляющим. Распространение данного поля связано с распространением двух основных видов волн: волны сжатия (Р-волна) и волны сдвига (S-волна). При падении данных волн на свободную (дневную) поверхность на ней возникают свободные колебания, распространяющиеся в виде поверхностных волн [2].

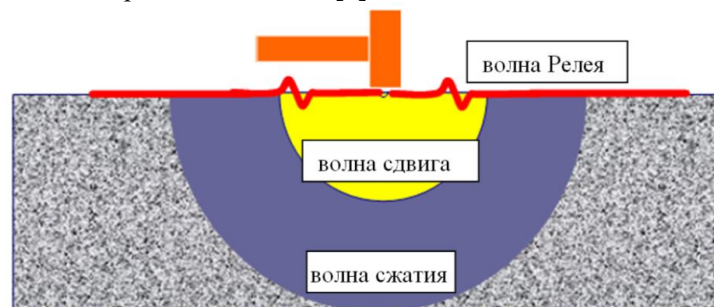


Рис. 1 .Виды волн, которые образуются в теле материала под действием импульсной нагрузки

Одним из типов таких волн является волна Релея (R-волна). Параметры распространения волн сжатия и сдвига являются основной информационной характеристикой акустической группы методов неразрушающего контроля качества. Однако, для регистрации данных параметров в большинстве случаев требуется двухсторонний доступ к конструкции, что невозможно при оценке свойств материалов, составляющих слои дорожной одежды. Решение данной задачи заключается в оценке параметров распространения волн сжатия и сдвига по параметрам распространения волн Релея. Данный тип волн обладает высокой энергоемкостью, распространяется вдоль свободной поверхности конструкции по всей толщине материала и может быть зарегистрирован при условии одностороннего доступа к сооружению или конструкции.

В линейной теории упругости, закон Гука выражает линейную зависимость между тензором деформации ξ и тензором напряжений σ в упругой среде при этом характеризуется следующей зависимостью [3]:

$$\sigma = 2 \cdot \mu \cdot \varepsilon + \theta \cdot \lambda, \quad (1)$$

где λ – первый параметр Ламе, μ – второй параметр Ламе, θ – единичная объёмная деформация.

Второй параметр Ламе равен модулю сдвига и в литературных источниках чаще обозначается как G [2,3,4]. Модуль сдвига описывает отклик материала на сдвиговую нагрузку и связан с модулем упругости E (модулем Юнга) через коэффициент Пуассона ν (формула 2). Так же, модуль сдвига описывает взаимосвязь между скоростью распространения волн сжатия V_p и волн сдвига V_s , плотностью среды распространения волновых полей ρ и коэффициентом Пуассона материала среды (формулы 3-4) [2].

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}, \quad (2)$$

$$V_p = \sqrt{\frac{G \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 - 2\nu)}}, \quad (3)$$

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (4)$$

При этом, известна зависимость между скоростью распространения волн Релея V_R и волн сдвига V_s :

$$\frac{V_R}{V_s} = \frac{0.87 + 1.12 \cdot \nu}{1 + \nu}. \quad (5)$$

Таким образом, используя формулы 2-5 можно составить зависимость между скоростью распространения поверхностной волны Релея, коэффициентом Пуассона, плотностью и модулем упругости материала среды в котором распространяются волновые поля:

$$E = \frac{0.87 + 1.12 \cdot \nu}{1 + \nu} \cdot V \cdot \rho \cdot 2 \cdot \frac{1}{1} \cdot \nu \quad (6)$$

Модуль упругости материала – одна из основных расчетных характеристик при проектировании цементобетонных конструкций, к которым относятся дорожные одежды жесткого типа. Соответствие фактических значений модуля упругости свежесушеного слоя из цементного бетона проектным значениям, является необходимым условием для обеспечения нормативного срока службы всей дорожной конструкции. На практике, основным критерием оценки физико-механических параметров цементного бетона стала прочность на сжатие. Данный параметр контролируется в лабораторных условиях при пробных замесах запроектованной смеси, а также в период строительства. Положениями ВБН В.2.3-218-008 [5] регламентируется соотношение расчетного модуля упругости по прочности на сжатие в зависимости от класса бетона. Этот факт позволяет использовать метод спектрального анализа распространения поверхностных волн для контроля качества устройства слоев дорожной одежды жесткого типа, неразрушающим способом.

Одним из основных достоинств метода спектрального анализа параметров распространения поверхностных волн, кроме оценки физико-механических параметров, является также возможность определения толщины слоя дорожной одежды. Глубина локализации поверхностной волны пропорциональна её длине, которая определяется соотношением скорости распространения

и частоты волны [6]. Поскольку поверхностные волны распространяются в упругих средах без дисперсии, скорость их распространения не зависит от частоты волны, а зависит исключительно от свойств исследуемой среды. Интенсивность затухания амплитуды колебаний частиц по глубине имеет экспоненциальную зависимость и для материалов с различным коэффициентом Пуассона определяет соотношение глубины локализации волны к её длине [6,7]. Для определения геометрических и физико-механических параметров цементобетонных слоев используют зависимость скорости распространения волны Релея от частоты или длины волн. Такая зависимость называется дисперсионная кривая. Наличие во фронте волны широкого спектра частот, достаточного для анализа свойств материала, обеспечивает использование активного источника нагружения импульсного типа при этом, чем короче время импульса, тем более широким будет частотный спектр волны возбуждения.

На кафедре строительства и эксплуатации автомобильных дорог Харьковского национального автомобильно-дорожного университета ведутся исследования по определению расчетных параметров конструкций из цементного бетона на основе анализа параметров распространения поверхностных волн. В лабораторных условиях были изготовлены плиты из цементного бетона (рисунок 2), которые моделируют конструкции жесткой дорожной одежды различной толщины (от 100 до 265 мм) на различных основаниях (из песка и песка, укрепленного цементом).



Рис. 2. Опалубка для цементобетонных плит с подготовленными основаниями (слева) и с уложенным бетоном (справа)

Размеры плит определялись их толщиной - наименьшая сторона плиты принималась не менее чем в четыре раза больше её толщины. Это позволит исключить погрешность в регистрации сигнала из-за отраженных от краев плиты волн при проведении испытаний. Вместе с плитами были изготовлены стандартные образцы в виде кубов размером 150 мм [8] для испытаний на прочность при сжатии по стандартной методике. Проведение параллельных испытаний плит неразрушающим способом и контрольных образцов позволит определить зависимость между прочностью бетона и параметрами распространения волновых полей, возникающих под действием импульсной тестовой нагрузки. Для регистрации данных параметров используется виброизмерительный комплекс (рисунок 3). Запись и обработка полученных результатов выполняется с помощью персонального компьютера (ноутбука).

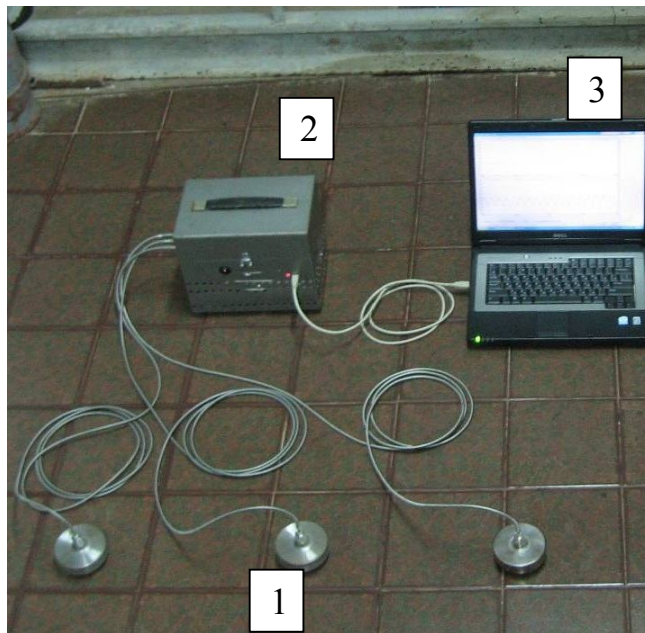


Рис. 3. Виброизмерительный комплекс: 1-виброакселерометры, 2-блок питания и аналогово-цифровой преобразователь, 3-ноутбук

Таким образом, использование параметров распространения поверхностных волн, для контроля качества устройства монолитных слоев жесткой дорожной одежды, позволит оценить геометрические и прочностные характеристики данных слоев. Достаточно высокая скорость проведения испытаний в тестовой точке без привлечения специализированной лаборатории, возможность использования предлагаемого метода, как в лабораторных, так и в полевых условиях на различных этапах строительства и эксплуатации дорожных сооружений делает данный метод наиболее перспективным среди существующих методов неразрушающей диагностики.

1. І.В. Кіяшко. Особливості використання віброакустичних методів неруйнівного контролю якості дорожнього одягу жорсткого типу. / І.В. Кіяшко, О.Ю. Пархоменко, Д.М. Новаковський. // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. Збірник / Відпов. ред. М.М. Осстрін. – К., КНУБА, 2011. – Вип. 40. У 2 ч. Ч. 1. – С. 445- 453.
2. Кунщиков Б.К. Общий Курс геофизических методов разведки/ Кунщиков Б.К., Кунщикова М.К. – М.: Недра. 1976.- 429 с.
3. Филоненко-Бородич М.М. Теория упругости/ Филоненко-Бородич М.М. – М: Государственное издательство физико-математической литературы, 1959. – 364 стр.
4. S. Nazarian, D. Yuan, K. Smith, F. Ansari, C. Gonzalez. Acceptance Criteria of Airfield Concrete Pavement Using Seismic and Maturity Concepts: Appendices. Report IPRF-01-G-002-02-2. Programs Management Office 5420 Old Orchard Road Skokie, IL 60077. May, 2006. – 98 p.p.
5. ВБН В.2.3-218-008-97. Проектування і будівництво жорстких таз жорсткими прошарками дорожніх одягів. Відомчі будівельні норми України. - К.: 1997р.. Видання офіційне.
6. Richart F.E. Jr, Wood R.D., Hall J.R. Jr (1970) "Vibration of soils and foundations", Prentice-Hall, New Jersey.
7. Foti S. Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves, PhD Dissertation, Politecnico di Torino. – Italy, 2000. – 229 с.
8. ГОСТ 10180. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. Взамен ГОСТ 10180-78. Утвержден и введен в действие постановлением Государственного строительного комитета СССР от 29 декабря 1989 г. № 168.

