

УДК 621.374

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПОДВИЖНОСТИ БЕТОННОЙ СМЕСИ**Смирнов В.В., Назаров М.А.***ФГБОУ ВПО «Самарский государственный архитектурно-строительный университет»,
Самара, e-mail: maes@samgasu.ru*

Исследовался контроль подвижности бетонной смеси с помощью оригинального ультразвукового волновода, состоящего из тонкостенного металлического стакана, внутри которого на его краях размещены два пьезокристаллических преобразователя кольцевидной формы с радиальной рабочей осью. На верхний преобразователь вертикально расположенного волновода от генератора подается гармонический сигнал, возбуждающий в стенках стакана механические колебания, которые преобразуются на нижнем преобразователе в электрический сигнал. При погружении волновода в бетонную смесь механические колебания корпуса волновода частично поглощаются материалом среды, определяемые ее диссипативными свойствами, что приводит к уменьшению величины сигнала нижнего преобразователя. Разница сигналов непогруженного и погруженного волновода свидетельствует о диссипативных свойствах бетонной смеси. Полученный график зависимости сигнала с преобразователя волновода от подвижности, выраженной через осадку конуса, дает основание для вывода о том, что между диссипативными свойствами бетонной смеси и ее подвижностью существует четкая корреляционная связь, практически не зависящая от технологических параметров бетонной смеси.

Ключевые слова: ультразвуковой волновод, пьезокристаллический преобразователь, механические колебания, диссипация ультразвуковых колебаний

ULTRASONIC EXAMINATION OF CONCRETE CONSISTENCY**Smirnov V.V., Nazarov M.A.***Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, e-mail: maes@samgasu.ru*

In this article the examination of concrete consistency is explored with the help of original ultrasonic waveguide consisted of a light gage urn with two ringed piezocrystal transformers on its edges and a working radial axle. On the upper transformer of the vertical located waveguide is given a signal from the generator which excites mechanical vibrations in the urn and after this they transform into electrical signal on the lower transformer. While putting the waveguide into concrete mixture, its mechanical vibrations are partially absorbed and leads to the decrease of signal volume on the lower transformer. The difference in signals shows us the dissipative behavior of concrete mixture. The diagram demonstrates that there is a strong correlative relationship between the dissipative behavior of concrete mixture and its consistency and this relationship does not depend on technological parameters.

Keywords: ultrasonic waveguide, piezocrystal transformer, mechanical vibration, dissipation of ultrasonic vibration

Исследования диссипативных (рассеивающих ультразвуковую энергию) свойств различных строительных материалов и их смесей, например, бетонных смесей, песчано-цементных и им подобных растворов, актуальны в том плане, что подобные исследования позволяют установить корреляционные зависимости между реологическими и физическими свойствами, с одной стороны, и диссипативными свойствами этих же сред, с другой. Использование этих зависимостей в целях контроля технологических параметров при производстве строительных материалов и изделий позволит улучшить их качество и повысить производительность, а также создаст предпосылки для разработки системы автоматического управления этим производством. Некоторые из таких исследований уже нашли свое применение в производстве. Так, например, при производстве бетонных изделий на некоторых предприятиях стройиндустрии ультразвук используется для контроля марки бетона (по скорости ультразвука в бетоне), известно применение ультразвуковых сигнализаторов уровня в бункерах с раз-

личными жидкими и сыпучими материалами и т.д.

Однако круг применения ультразвука в производстве строительных материалов и изделий может быть существенно расширен, если установить связи между реологическими, физическими и диссипативными свойствами строительных материалов. Таким исследованиям и посвящена настоящая статья, в которой приводятся некоторые результаты проведенных исследований по установлению корреляционной зависимости между подвижностью бетонной смеси и диссипативными свойствами ее ультразвуковых колебаний.

Способность бетонной смеси поглощать энергию ультразвука (диссипативные свойства бетонной смеси) обусловлена такими ее свойствами, как вязкость, теплопроводность и дисперсность структуры [5].

Имеющиеся в настоящее время теоретические обоснования не могут в полной мере объяснить все явления, протекающие в процессе поглощения энергии колебаний в бетонной смеси. Однако полученные экспериментальные данные в работах [1, 2, 3, 4]

дают основания сделать вывод о том, что между реологическими характеристиками и диссипативными свойствами бетонной смеси существуют достаточно тесные корреляционные связи, которые могут быть положены в основу универсального метода контроля технологических параметров бетонной смеси.

Для вязкой среды затухание амплитуды колебаний вследствие поглощения энергии подчиняется экспоненциальному закону

$$A = A_0 e^{-\alpha x}, \quad (1)$$

где α – коэффициент затухания колебаний; A – амплитуда смещения по некоторой поверхности, определяемой радиусом R ; A_0 – то же на поверхности радиусом R_0 ;

$$X = R - R_0.$$

Коэффициент затухания складывается из коэффициентов поглощения и рассеяния

$$\alpha = \alpha_n + \alpha_p. \quad (2)$$

При поглощении звуковая энергия переходит в тепловую, а при рассеянии энергия остается звуковой, но уходит от направленно распространяющейся волны в результате отражения и преломления на неоднородностях среды [4]. Для бетонной смеси, которая является сложной гетерогенной системой, теория поглощения ультразвука мало изучена, поэтому чаще эти исследования осуществляются эмпирически.

Традиционно при исследовании диссипативных свойств бетона (бетонной смеси) использовался метод непосредственного возбуждения ультразвуковых колебаний с одной грани образца, а с другой грани снимался сигнал, пропорциональный прошедшим через образец колебаниям.

В наших исследованиях был применен принципиально другой метод взаимодействия структуры бетонной смеси с ультразвуком.

Авторы провели ряд исследований с различными марками бетона, имеющими различные подвижности бетонной массы. Эксперименты проводились в лаборатории завода ЖБИ на реальных промышленных смесях, используемых для нужд производства в текущий момент, с последующим контролем подвижности конусным методом по ГОСТ – 10181. Специальных изменений подвижности одного и того же состава не проводилось.

Эксперимент проводился с помощью ультразвукового волновода авторской разработки, представляющего собой тонкостенный полый дюралюминиевый стакан, внутрь которого помещались на амортиза-

ционной смазке два пьезопреобразователя кольцевидной формы с радиальной рабочей осью. Один пьезопреобразователь размещался на одном конце стакана и являлся возбудителем ультразвуковых колебаний. На него от высокостабильного генератора подавался гармонический сигнал, который преобразовывался в ультразвуковые колебания, распространяющиеся от него по стенкам волновода. Другой пьезопреобразователь размещался на другом конце волновода и принимал дошедшие до него ультразвуковые колебания стенок стакана, преобразуя их в электрические сигналы, которые фиксировались специальной измерительной аппаратурой с выходом на измерительную головку. Возможна и дифференциальная конструкция волновода, которая использовалась авторами в качестве датчика сигнализатора уровня [6].

Методика эксперимента заключалась в следующем.

Ультразвук в виде поперечных волн распространялся по волноводу, погруженному на глубину 14 см в бетонную смесь. За счет диссипативных свойств бетонной смеси сигналы на приемном преобразователе в отличие от холостого хода (не погруженный волновод) уменьшались.

В частности, установлено, что интенсивность затухания ультразвука зависит от формы излучателя колебаний, от направления продвижения волны, от свойств среды поглощения. Фронт продвигающейся вдоль волновода поперечной волны испытывает на себе воздействие среды, вследствие чего часть энергии рассеивается за счет преломления и отражения на поверхностях крупных частиц заполнителя, а другая часть поглощается на преодоление сил сцепления мельчайших фракций и сухого трения крупных частиц заполнителя. Такое представление о механизме поглощения энергии ультразвука, передаваемой поперечной волной по корпусу волновода, хорошо согласуется с видом зависимости амплитуды гармоники на приемном пьезокристалле D от подвижности бетонной смеси, выраженной через величину осадки конуса h .

В качестве результата опыта принималось среднее значение за пять погружений волновода в одну и ту же смесь. Конкретное значение величины сигнала значения не имело. В расчет принималась лишь динамика показаний в функции подвижности. Результаты, ранжированные по величине осадки конуса, были сведены в таблицу.

Графическая интерпретация данной таблицы приведена на рисунке.

Результаты опытного контроля подвижности бетонной смеси.

Номер опыта	Марка бетона	Осадка конуса h (см)	Значение сигнала Δ	Примечание
1	ПТК-200	0	40	
2	ПТК-250	1	30	
3	М-200	1,5	7	
4	М-200	2	6,2	
5	М-200	4,5	6	
6	М-300	7	5,2	
7	М-200	9	6	С пластификатором
8	М-300	13	5,1	
9	М-350	15	5	
10	Товарн. бетон	20	4,8	

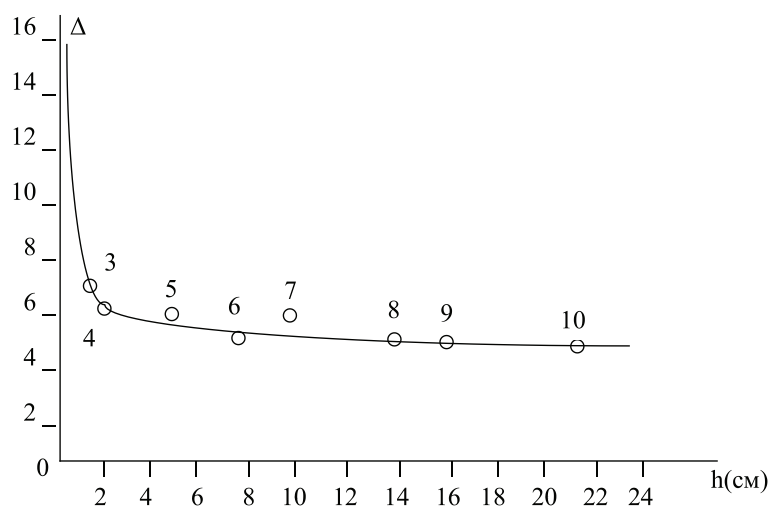


График зависимости сигнала волновода Δ , погруженного в бетонную смесь, от ее подвижности, выраженной через осадку конуса h

Анализируя график, можно сделать следующие выводы. В широком диапазоне изменения осадки конуса (3...20 см) диссипация ультразвуковых волн максимальная, однако с изменением подвижности изменяется весьма незначительно. То есть в данном диапазоне смесь можно рассматривать как текучий раствор с определенной консистенцией. В диапазоне 1,5...2,5 см наблюдается довольно резкий изгиб характеристики, после которого диссипация резко снижается, по-видимому, за счет уменьшения доли на преодоление сухого трения на крупных частицах заполнителя. То есть в диапазоне 1,5...2,5 см бетонная смесь переходит в стадию пластичного материала, в котором на осадку конуса влияют уже другие механизмы взаимодействия компонентов смеси. Резкое возрастание характеристики при малой осадке говорит о том, что бетонная смесь становится жесткой и приобретает свойства твердого тела.

Можно отметить также, что, несмотря на различный фракционный состав смеси и марки цемента, график очень четко вы-

держивает определенную закономерность. Из графика выпадает только точка (7), которую можно отнести за счет наличия пластической добавки в этой смеси. В целом можно сделать вывод, что при изменениях марки цемента, физических свойств крупного заполнителя, при одной и той же осадке конуса бетонной смеси расхождения в оценке диссипативных свойств образцов укладывались в пределы естественного разброса, определенного погрешностью измерительных средств эксперимента.

Таким образом, анализ выявленной зависимости диссипативных свойств различных по составу и физическим свойствам бетонных смесей с подвижностью бетонной смеси выявил довольно четкую корреляционную связь между этими параметрами, которая может быть использована, в частности при создании портативного прибора для определения подвижности бетонной смеси. Кроме этого данная зависимость с определенной доработкой и уточнением технологических параметров может быть использована при создании прибора для определения

момента схватывания при термообработке бетона (на резком перегибе характеристики), что также является важным технологическим параметром. На основе этой зависимости можно разработать систему контроля и управления процессом приготовления бетонной смеси, контролируя однородность массы по стабильности амплитуды гармоники ультразвукового датчика, построенно по вышеописанной методике.

Список литературы

1. Васильев В.Г. Разработка метода оперативного контроля свойств подвижных бетонных смесей по их акустическим характеристикам: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Донецк, 1979. – 21 с.
2. Дзенис В.В., Васильев В.Г. Акустические методы контроля в технологии строительных материалов. – М.: Стройиздат. 1978. – С. 18, 51.
3. Дзенис В.В., Лапса В.Х. Ультразвуковой контроль твердеющего бетона. – Л.: Стройиздат. 1971. – С. 5.
4. Ермилов Н.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение. 1981. – С. 48.
5. Миклашевский Е.П. Глубинное вибрирование бетонной смеси. – М.: Стройиздат. 1981. – С. 7–9.
6. Смирнов В.В. Система автоматического контроля уровня цементного бункера бетоносмесительного узла // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6 (часть 5). – С. 1094–1097.

References

1. Vasiliev V.G. The development of operating control method in concrete consistency according to acoustic characteristics. Author's abstract. 1979. 21 p.
2. Dzenis V.V., Vasiliev V.G. Acoustic control method in building technologies. M.: Stroyisgat. 1981. pp. 18, 51.
3. Dzenis V.V., Lapsa V.Ch. Ultrasonic control of consolidating concrete. L.: Stroyisdat. 1979. pp. 5.
4. Ermilov N.N. Theory and practice of ultrasonic control. M.: Mashinostroenie. 1981. pp. 48.
5. Miklashevskiy E.P. Internal vibration of concrete mixture. M.: Stroyisdat. 1981. pp. 7 9.
6. Smirnov V.V. Automatic control system of cement buncer filling level in concrete-mixing center. Fundamental Research 6 (part 5). Russian Academy of Natural Sciences. pp. 1094–1097.

Рецензенты:

Попов В.П., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технологии строительного производства» Самарского государственного архитектурно-строительного университета, г. Самара;

Данилушкин А.И., д.т.н., профессор кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Самарского государственного технического университета, г. Самара.

Работа поступила в редакцию 10.10.2013.