

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОНА  
И БЕТОНА МЕТОДОМ УДАРНОГО ИМПУЛЬСАВ.А. РУДНИЦКИЙ, А.П. КРЕНЬ, О.В. МАЦУЛЕВИЧ  
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»  
Минск, Беларусь

Модуль упругости является одной из наиболее важных характеристик, определяющих эксплуатационные свойства бетона и асфальтобетона. Определение наряду с прочностью модуля упругости очень важно как при изготовлении строительных материалов, так и при проведении мониторинга действующих объектов (зданий, сооружений, дорожного покрытия). Оценка изменения модуля упругости в процессе эксплуатации дает возможность оценить состояние материала на данный момент и прогнозировать его поведение в будущем.

В настоящее время для оценки модуля упругости используют ультразвуковые методы, где по скорости прохождения ультразвуком участка заданной длины судят о модуле упругости. Однако существенным недостатком этих методов при контроле реальных изделий является сильная зависимость результатов измерений от структурной неоднородности и плотности материала.

В данной работе рассматривается метод ударного импульса, физическая сущность которого заключается в нанесении жестким индентором свободного удара по испытываемому объекту и регистрации параметров движения индентора в процессе его взаимодействия с объектом (в нашем случае – текущей скорости индентора). Первичным преобразователем является магнитоиндукционный датчик, состоящий из неподвижной катушки индуктивности и постоянного магнита, вмонтированного в индентор. При движении индентора, прикрепленный к нему постоянный магнит наводит в катушке индуктивности ЭДС, пропорциональную скорости движения индентора. Этот сигнал, после аналогово-цифрового преобразования с заданной частотой дискретизации в электронном блоке АЦП, обрабатывается в соответствии с принятыми алгоритмами обработки. В результате получают зависимости текущих значений глубины вдавливания от контактного усилия. Эти зависимости являются основой для безобразцового определения значения динамического модуля упругости и твердости материала в общепринятых единицах СИ.

Особенностью свободного удара является то, что в процессе удара одновременно происходят изменения скоростей напряжений и деформаций. Изменения происходят с отставанием по фазе деформаций от напряжений. Для установления взаимосвязи напряжений  $\sigma$  и деформаций  $\epsilon$  при ударе могут использоваться дискретные модели, состоящие из набора упругих

элементов и демпферов, с помощью которых с различной степенью приближения можно описать зависимость  $\sigma = f(\varepsilon)$ . Однако получить полезную информацию о свойствах материала, как оказалось, можно не рассматривая промежуточные значения параметров удара, а используя только их конечные величины: максимальные значения контактной силы  $P_{\max}$ , глубины внедрения  $\alpha_{\max}$  и скорости отлета  $V'_0$ .

Согласно проведенным исследованиям, для модуля упругости было получено следующее выражение:

$$E = (1 - \mu^2) \left( \frac{2+n}{2} \right)^{\frac{3}{8}} \frac{D^{\frac{3}{4}}}{W^{\frac{1}{4}}} \left( \frac{P_{\max}}{\pi D \alpha_{\max}} \right)^{\frac{5}{4}} \left( \frac{V_0}{V'_0} \right)^2. \quad (1)$$

В этой формуле используемые обозначения имеют следующий физический смысл:

$\mu$  – коэффициент Пуассона (для асфальтобетона и бетона находится в пределах 0,16–0,25);

$n$  – коэффициент, зависящий от твердости материала и изменяющийся в пределах от 1,5 до 2. В первом приближении для рассматриваемых материалов можно считать  $n = 2$ ;

$D$  – диаметр сферического наконечника индентора;

$W$  – предударная энергия индентора;

$P_{\max}$  и  $\alpha_{\max}$  – максимальная контактная сила и глубина вдавливания индентора при ударе соответственно;

$V_0$  и  $V'_0$  – скорость подлета и отлета индентора соответственно.

Выражение (1) позволяет произвести расчет так называемого «статического», а не динамического модуля упругости, потому что в основу расчета положен пассивный этап удара, в процессе которого происходит восстановление запасенной упругой деформации при неизменной пластической деформации, которая была достигнута в конце активного этапа удара.

Предударная энергия удара, входящая в выражение (1) рассчитывается по формуле:  $W = \frac{mV_0^2}{2}$ . В приборе ИПМ-1А, с помощью которого производились экспериментальные исследования, масса индентора  $m$  была равна 0,175 кг, диаметр  $D = 32$  мм. Параметры  $V_0$  и  $V'_0$ ,  $P_{\max}$  и  $\alpha_{\max}$  определялись каждый раз из экспериментальных зависимостей  $V = f(t)$  и  $P = f(\alpha)$  (рис. 1). Приведенные зависимости были получены для образца из асфальтобетона, имеющего прочность 4,2 МПа. Подставляя экспериментальные данные в формулу (1), получаем  $E = 28,7$  ГПа.

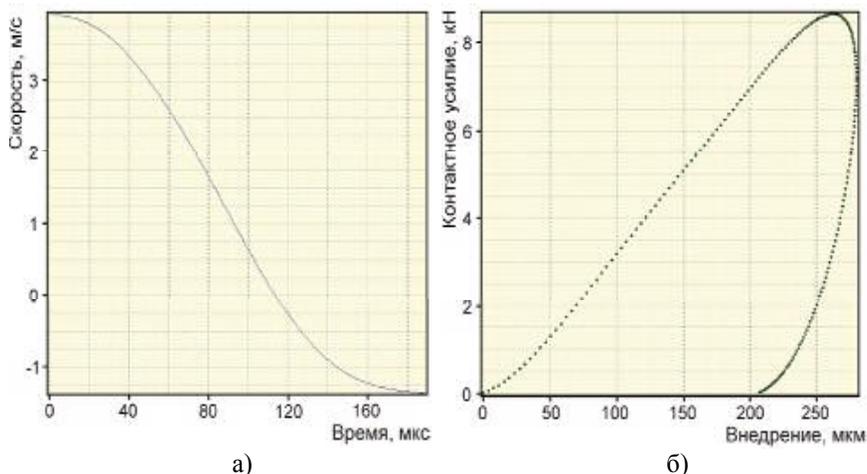


Рис. 1. Зависимости скорости от времени (а) и контактной силы от глубины вдавливания (б) при динамическом внедрении сферического индентора в асфальтобетон

Для оценки достоверности предложенного метода были проведены сопоставительные измерения модуля упругости с ультразвуковым методом на образце из относительно однородного материала, каким является органическое стекло.

Исходные данные для расчета по формуле (1) были:  $V_0 = 3,76$  м/с,  $V'_0 = 3,49$  м/с,  $P_{\max} = 7696,7$  Н,  $\alpha_{\max} = 342,7 \cdot 10^{-6}$  м. Вычисленное среднее значение модуля упругости было равно  $E = 2,59$  ГПа. Ультразвуковые измерения дали достаточно близкий результат:  $E_{у.з.} = 2,8$  ГПа, что косвенно подтверждает достоверность предлагаемого метода оценки модуля упругости.

Предложен динамический импульсный метод определения модуля упругости строительных материалов (бетонов и асфальтобетонов) по данным, получаемым по результату одного испытательного удара.