

В. В. Штабинский, канд. техн. наук, РУП «БелдорНИИ»

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА УПЛОТНЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ИЗ НЕСВЯЗНЫХ КАМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ УСТАНОВКОЙ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ ЛЕГКОГО ТИПА

The article deals with the design of light type dynamic loading apparatus, methods of testing of road base layers and road pavement made of gravel and crushed stone as well as procedure for processing of test results.

Несвязные каменные материалы (щебень, песчано-гравийная смесь, щебеночно-гравийно-песчаная смесь и др.) сегодня широко применяют для строительства оснований дорожных одежд городских улиц и автомобильных дорог, оснований под ленточные и плитные фундаменты, полы промышленных зданий и др. Их свойства изменяются в зависимости от степени уплотнения. Важным условием получения плотной и устойчивой структуры таких материалов является подбор их состава, надлежащая степень уплотнения, рациональная технология и методы контроля уплотнения.

Существующие на сегодняшний день в отечественной и мировой практике строительства методы прямого определения плотности несвязных каменных материалов базируются на методе отрывки в уплотненном слое углубления (лунки) с отбором и высушиванием материала и определением объема лунки путем замещения его водой, воздухом, сухим песком или другими материалами [1].

Однако самой трудоемкой операцией при объемно-весовом методе контроля плотности является операция по отрывке в уплотненном слое лунки. Кроме того, определение влажности требует проведения дополнительных лабораторных работ. Поэтому для производственного контроля целесообразно иметь метод контроля плотности без отбора образцов материала, при этом данный метод должен обеспечивать получение результата непосредственно в полевых условиях.

Для уплотненных несвязных каменных материалов с наличием большого количества крупных частиц характерна структура, в которой крупные обломки в большинстве своем находятся во взаимном контакте и зацеплении. Присутствующая в таких материалах мелкая фракция играет роль заполнителя. В этом случае обломочный материал полностью воспринимает нагрузки и эффективность работы уплотненного слоя определяется его жесткостью, оцениваемой модулем упругости. Однако на сегодняшний день производственный контроль жесткости затруднен из-за сложности проведения послойных статических штамповых испытаний [2].

Степень уплотнения несвязных каменных материалов целесообразно оценивать методом

динамического нагружения через жесткий круглый штамп, который позволяет существенно повысить производительность испытаний и более близок по условиям приложения нагрузки к воздействию на покрытие колеса движущегося автомобиля.

Однако применяемые в бывшем СССР установки динамического нагружения в основном имеют большие параметры и размеры, что не позволяет использовать их для целей производственного контроля за качеством уплотнения слоев из несвязных каменных материалов. Для целей производственного контроля необходимо использовать портативную установку динамического нагружения, которую можно было бы перевозить в багажнике легкового автомобиля. Такая установка не должна требовать при эксплуатации источника питания (за исключением элементов питания напряжением 9 в).

Для динамических испытаний грунтов земляного полотна и нижних слоев дорожной одежды в Германии и Польше также применяют облегченные установки со штампом диаметром 30 см. Эти установки создают удельное давление под штампом до $1,25 \text{ кгс/см}^2$ при длительности его действия 0,02 с [3, 4].

В РУП «БелдорНИИ» также разработана установка динамического нагружения легкого типа УДН-1М [5], которая включает круглый жесткий штамп массой 15 кг (диаметр штампа 300 мм), нагружающее устройство и электронный блок-приставку «Модуль-1» (рис. 1).

Нагружающее устройство включает падающий груз массой 10 кг, амортизатор, выполненный из набора тарельчатых пружин, и направляющую трубу, нижний конец которой соединен с опорным стаканом, а верхний – с отпирающим устройством, которое служит для удержания груза на необходимой высоте и его сбрасывания.

Для измерения упругого перемещения штампа в установке УДН-1М используется быстросрабатывающий датчик ускорений – акселерометр. Обладающий высокой чувствительностью по напряжению и широким частотным диапазоном акселерометр позволяет формировать выходной сигнал за короткий промежуток времени.

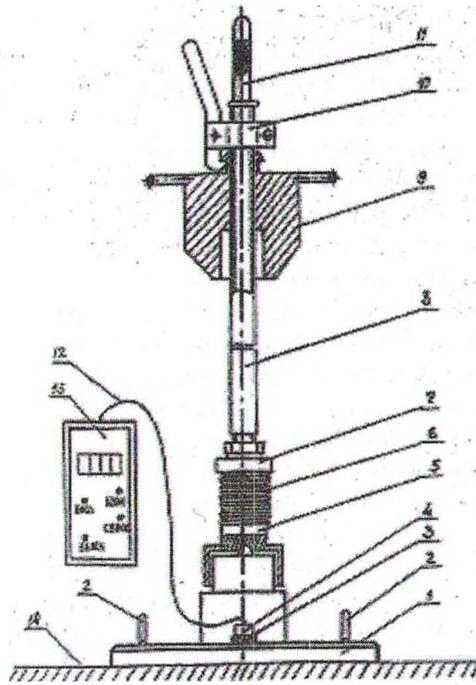


Рис. 1. Конструктивная схема установки динамического нагружения легкого типа:

- 1 – штамп; 2 – ручка; 3 – постоянный магнит;
- 4 – акселерометр; 5 – опорный стакан;
- 6 – амортизатор; 7 – наковальня; 8 – направляющая;
- 9 – падающий груз; 10 – опирающее устройство;
- 11 – рукоятка; 12 – соединительный кабель;
- 13 – измерительный блок устройства измерения осадки штампа

Акселерометр фиксируется на поверхности штампа в центральной его части с помощью постоянного магнита. Сигнал от датчика по стандартному проводу поступает в электронный блок, который конструктивно выполнен в портативном пластмассовом корпусе. Питание блока автономное от одного элемента типа «Крона».

Полученный в результате приложения динамической нагрузки электрический сигнал с датчика (акселерометра), пропорциональный скорости перемещения штампа, интегрируется и усиливается операционным усилителем, преобразуется в цифровую форму и поступает в микропроцессор, который в соответствии с заложеной программой осуществляет цифровую обработку. Полученный результат измерения высвечивается на табло 4-разрядного жидкокристаллического индикатора, расположенного на передней панели измерительного блока, и заносится в энергонезависимую память. На индикаторе электронного блока высвечивается число, показывающее амплитуду осадки штампа (упругую деформацию слоя) после каждого удара груза и среднее значение осадки по результатам трех измерений.

По величине упругой деформации, измеренной при кратковременном действии нагрузки,

определяют динамический модуль упругости E_0 контролируемого слоя, используя зависимость

$$E_0 = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\sigma \cdot D(1 - \mu^2)}{\ell}, \quad (1)$$

где $\frac{\pi}{4}$ – поправка, учитывающая влияние жесткого штампа; σ – среднее удельное давление под штампом, МПа:

$$\sigma = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}, \quad (2)$$

где D – диаметр штампа, мм; ℓ – вертикальная деформация конструктивного слоя при динамическом нагружении (амплитуда осадки штампа), мм; μ – коэффициент Пуассона; $\mu = 0,2-0,3$; Q – динамическое усилие, создаваемое нагружающим устройством установки, Н:

$$Q = \frac{\pi \cdot P}{T} \sqrt{\frac{2H}{g}}, \quad (3)$$

где H – высота падения груза, м; P – вес падающего груза, Н; T – продолжительность действия удара груза, с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Зависимость (3) показывает, что для достижения одного и того же значения динамического усилия Q с увеличением длительности его действия T необходимо увеличивать вес падающего груза P или высоту его падения H . И то и другое существенно утяжеляет установку динамического нагружения и делает ее более громоздкой.

Динамическое усилие Q при испытаниях установкой динамического нагружения растет от нуля до максимума и снова падает до нуля. Под длительностью действия нагрузки подразумевается время от ее возникновения до исчезновения в данной точке (рис. 2).

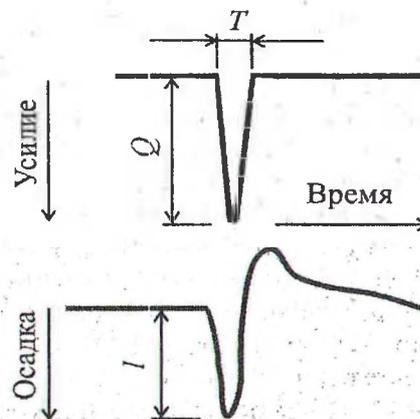


Рис. 2. Характер изменения динамического усилия и осадки штампа

Длительность действия динамического усилия обеспечивается подбором жесткости амортизатора, на который падает груз. При проведении массовых испытаний удобнее как можно реже менять длительность действия нагрузки, так как это связано со сменой амортизатора и требует дополнительных затрат времени на испытания. Нами принята продолжительность действия удара $T = 0,018 \pm 0,002$ с, которая согласуется с длительностью действия на конструктивный слой дорожной одежды колесной нагрузки от проезжающего автомобиля.

Таким образом, основным техническим параметром установки УДН-1М является величина динамического усилия Q , от точности определения которой зависит достоверность определения динамического модуля упругости E_0 . Поэтому актуальной становится задача измерения и контроля величины динамического усилия и учет ее при обработке данных испытаний установкой динамического нагружения легкого типа.

Перед использованием установки динамического нагружения следует проводить калибровку нагружающего устройства на испытательном стенде не менее чем 1 раз в год. Калибровка состоит в том, чтобы путем изменения высоты падения груза и (или) жесткости амортизатора определить диапазон нагрузки, необходимой для получения заданного контактного напряжения ($\sigma = 0,1$ Н/мм²) и времени действия нагрузки ($T = 0,018 \pm 0,002$ с). Заданное контактное напряжение должно соблюдаться с отклонением не более $\pm 1\%$.

Калибровка нагружающего устройства необходима и для того, чтобы обеспечить требуемое динамическое усилие ($Q = 7,07$ кН).

Калибровка нагружающего устройства осуществляется установкой высоты падения груза при постоянной его массе. Высота падения груза должна обеспечивать получение требуемой величины динамического усилия Q с точностью до 1%.

Для калибровки нагружающее устройство устанавливается на месдозу усилия, которая должна находиться на жестком основании, имеющем горизонтальную поверхность. В качестве жесткого основания может быть использован бетонный фундамент общей массой не менее 200 кг. В качестве измерительного элемента (месдозы усилия) может быть использован тензометрический датчик, измерительный выход которого подсоединяют к усилителю с фильтром и регистрирующим устройством, или динамометр усилия сжатия с индуктивным преобразователем перемещений [6].

Кроме того, ежегодно должна производиться и калибровка устройства измерения осадки штампа. Такая калибровка выполняется на специальном стенде [7]. Точность измерения амплитуды осадки штампа должна составлять:

в диапазоне 0,2–1,0 мм – не более $\pm 0,02$ мм;

в диапазоне 1–2 мм – не более 2%.

Калибровка должна осуществляться по всему диапазону измеряемой величины осадки штампа от 0,2 до 2,0 мм при ударной нагрузке $Q = 7,070 \pm 70$ Н.

Работа с установкой динамического нагружения включает подготовку поверхности контролируемого слоя в точке испытаний, подготовку установки к работе и проведение измерений.

Поверхность испытываемого слоя в месте установки штампа должна быть тщательно выровнена без нарушения сложившейся структуры материала вспомогательными средствами (стальной линейкой, кельмой и др.) или притиркой (перемещением и вращением) штампа к поверхности слоя в пределах опорной поверхности. Для выравнивания поверхности и плотного прилегания штампа можно использовать сухой одномерный песок средней крупности, которым заполняют пустоты между крупными частицами под штампом вровень с поверхностью слоя.

Расстояние от края уплотняемого слоя до места установки штампа должно быть не менее 1,0 м.

После подготовки поверхности и установки штампа на шаровую опору последнего устанавливают нагружающее устройство, а в центральной части штампа – датчик для определения осадки (акселерометр).

Для обеспечения плотного прилегания штампа к поверхности слоя предварительно нагружают место испытаний 3-мя ударами груза. Для этого падающий груз сбрасывают с высоты, установленной при калибровке нагружающего устройства.

Для выполнения измерений включают электронный блок устройства измерения осадки штампа и производят три последовательных нагружения штампа падающим с заданной высоты грузом, измеряя при каждом нагружении соответствующую амплитуду осадки штампа в миллиметрах (высвечивается на табло). После третьего удара на табло высвечивается среднее значение осадки штампа. Результаты замеров заносят в журнал.

Направляющая штанга при падении груза должна находиться в положении, близком к вертикальному. После каждого нагружения и подскока груз необходимо подхватывать и фиксировать отпирающим устройством.

Разброс отдельных результатов величины амплитуды осадки штампа не должен превышать 0,04 мм. При этом, если результаты 2-х измерений отличаются между собой более чем на 0,02 мм (относительно меньшего значения), необходимо провести дальнейшее нагружение.

По формуле (1) определяют динамический модуль упругости E_0 конструктивного слоя, подставляя вместо ℓ среднее значение осадки штампа по результатам 3-х измерений.

При оценке степени уплотнения конструктивного слоя дорожной одежды полученный фактический динамический модуль упругости сопоставляют с требуемым для данного конкретного слоя или используют предварительно установленную экспериментально градуировочную зависимость между величиной динамического модуля упругости E_0 и показателем степени уплотнения конкретного материала.

Таким образом, установка динамического нагружения легкого типа УДН-1М позволяет производить контроль степени уплотнения несвязного каменного материала по непосредственным замерам, выполненным на поверхности уложенного и уплотненного конструктивного слоя дорожной одежды без отбора образцов и проведения дальнейших лабораторных испытаний.

Литература

1. РД 0219.1.24-2002. Руководство по контролю качества уплотнения гравийных и щебеночных материалов в конструктивных слоях дорожной одежды / Департамент «Белавтодор» Минтранс РБ. – Мн., 2002. – 29 с.
2. СТБ П 1501-2004. Автомобильные дороги. Метод статического определения модуля упругости грунтов земляного полотна и материалов оснований дорожных одежд / Минстройархитектуры РБ. – Мн., 2004. – 15 с.
3. DIN 1771-1997 / TP BF – STB Teil B 83. Динамические испытания нагружением штампам с использованием прибора с легким падающим грузом (нем.).
4. Сулевска М. И. Современный метод ускоренной оценки уплотнения грунтов // Строительство. – 2003. – № 3–4. – С. 227–231 (англ.).
5. Патент Республики Беларусь № 178 на полезную модель, МПК⁶ G01N 33/38, E01C 23/07. Установка для испытаний слоев дорожных одежд (В. В. Штабинский, Б. Ф. Москалик). Патентообладатель – РУП «БелдорНИИ».
6. Патент Республики Беларусь № 367 на полезную модель, МПК⁷ G01N 33/38, E01C 23/07. Стенд для определения динамического усилия (В. В. Штабинский, А. И. Смыковский). Патентообладатель – РУП «БелдорНИИ».
7. Патент Республики Беларусь № 410 на полезную модель, МПК⁷ G01N 33/38, E01C 23/07. Стенд для калибровки устройства измерения осадки штампа при динамическом нагружении (В. В. Штабинский, Л. Н. Данилевский, А. И. Зайцев). Патентообладатель – РУП «БелдорНИИ».