

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВДАВЛИВАНИЯ СФЕРИЧЕСКОГО ШТАМПА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ

В.П. Волокитин¹, О.А. Волокитина², А.В. Еремин³

Воронежский государственный университет^{1,2,3}

1 Канд. техн. наук, доц. кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов

2 Канд. техн. наук, доц. кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов

3 Канд. техн. наук, доц. кафедры проектирования автомобильных дорог и мостов, тел.: +7(473)271-52-02
e-mail: nova.vp@mail.ru

Предложен метод определения деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий автодорожных мостовых сооружений, основанный на вдавливании сферического штампа в упругое полупространство и позволяющий ускорить оперативность и повысить достоверность оценки качества их строительства.

Ключевые слова: сферический штамп; модуль упругости; угол внутреннего трения; коэффициент сцепления; мостовое сооружение, покрытие, деформация, прочность, слой, асфальтобетон.

USE OF SPHERICAL STAMP PRESSING-IN METHOD FOR DEFINITION OF DEFORMATIVE - STRENGTH PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE BLANKET ON BRIDGE STRUCTURES.

V.P. Volokitin¹, O.A. Volokitina², A.V. Eremin³

Voronezh State Technical University

1 *PhD of Tech. Sc. associate professor of the department of roads and bridges designing*

2 *PhD of Tech. Sc. associate professor of the department of roads and bridges designing*

3 *PhD of Tech. Sc. associate professor of the department of roads and bridges designing, ph.: +7(473) 2715202*
e-mail: nova.vp@mail.ru

Method of determination of the deformation-strength characteristics of asphalt concrete grouted asphalt revetment of bridge structures based on spherical stamp [pressing -in into elastic half-space, accelerating efficiency and rising the quality assessment trustworthiness of their construction.

Keywords: spherical stamp; elastic modulus; angle of internal friction; coefficient of adhesion; bridge construction, coating, deformation, strength, layer, asphalt concrete.

Мостовые сооружения на автомобильных дорогах являются важной составной частью дорожной сети. Настил большинства из них имеет асфальтобетонное покрытие. Проезжая часть мостов представляет собой совокупность конструктивных элементов, воспринимающих действие подвижных нагрузок и передающих их на несущую часть пролетного строения.

Основными функциями проезжей части и, в частности, ездового полотна являются:

- восприятие внешних нагрузок от автотранспорта, распределение и передача их на несущую конструкцию мостового сооружения;

- защита нижележащих конструкций от механического воздействия в качестве слоя износа;
- защита нижележащих несущих конструкций от прямых атмосферных воздействий;
- обеспечение комфортности и безопасности движения за счёт ровности и шероховатости покрытия.

Работа покрытий в процессе эксплуатации осуществляется при крайне неблагоприятном воздействии как транспортных нагрузок, так и климатических факторов. Помимо воздействия автотранспорта, необходимо принимать во внимание напряжения, возникающие в покрытии в результате циклических колебаний температуры, а также напряжения, вызываемые давлением льда в порах при переменном замораживании и оттаивании, и, кроме того, гидравлические импульсы воды в порах при проезде автомобилей. Это значительным образом затрудняет оценку их влияния на эксплуатационно-прочностные показатели мостов.

В настоящее время большое внимание стало уделяться оценке деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях, на основании которых можно определить вероятность возникновения деформаций и разрушений и своевременно принять меры, предотвращающие их развитие [1].

На текущий момент в нормативной литературе отсутствует метод, позволяющий определить основные деформационно-прочностные характеристики без нарушения целостности покрытия в процессе контроля качества строительства мостовых сооружений.

В существующей нормативной базе требования, предъявляемые к асфальтобетону по ГОСТ 9128-2013, ПНСТ 184-2016, и согласно методике оценки основных показателей его свойств (ГОСТ 12801-98) повлекли за собой определенные несоответствия между показателями свойств, характеризующими асфальтобетон как дорожно-строительный материал, и теми необходимыми характеристиками, которые должны контролироваться в процессе строительства. Такие несоответствия заключаются в том, что асфальтобетон, рассматриваемый как дорожно-строительный материал, характеризуется температурой приготовления и укладки, крупностью зернового состава, плотностью, водонасыщением, набуханием и прочностью, определяемой при температурах 0°C , 20°C , и 50°C . Однако к основным характеристикам асфальтобетона также относятся: модуль упругости при статическом нагружении при различных температурах, прочность при изгибе, внутреннее трение и сцепление между частицами. И в том, и другом случае используемые схемы испытания образцов существенно отличаются от реальной работы асфальтобетона в дорожном покрытии [2,3].

Существующие методы не позволяют комплексно охарактеризовать реологические свойства асфальтобетона.

В связи с этим был проанализирован опыт определения прочностных характеристик асфальтобетона различными методами в полевых условиях. Исследования показали, что необходимо иметь сведения не только о величине максимального прогиба, но и об очертании чаши места нагружения. Эти данные позволяют установить значения максимального и минимального радиусов кривизны, а также растягивающих напряжений. В итоге, была предложена методика определения прочностных и деформационных характеристик асфальтобетонного покрытия на мостовых сооружениях с использованием вдавливания сферического штампа, которая основана на определении деформационно-прочностных свойств упругого полупространства [4,5].

Жесткий сферический штамп радиусом R нагружается под воздействием силы Q в упругое полупространство (рис. 1). Перемещение осуществляется по оси OZ , направленной внутрь полупространства. Упругое полупространство характеризуется модулем упругости E и коэффициентом Пуассона ν . При оценке равновесия штампа рассматривается область соприкосновения Ω , содержащая точки смещенной поверхности S после вдавливания.

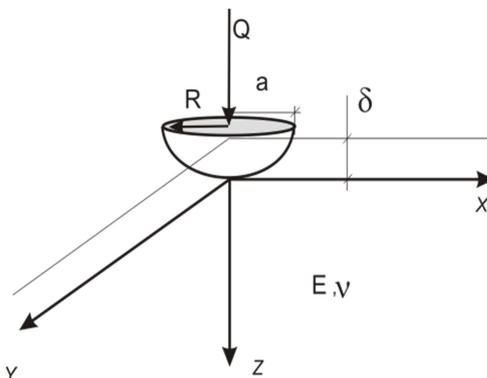


Рис. 1. Расчетная схема при вдавливании сферического штампа

При вдавливании штампа образуется круговая площадка. Радиус окружности, ограничивающий эту площадку, равен a (3).

Уравнение равновесия имеет вид

$$Q = \iint_{\Omega} p(x, y) dx, dy. \quad (1)$$

Перемещения точек поверхности S вдоль оси z описываются зависимостью

$$\omega = \delta - \varphi(x, y). \quad (2)$$

Радиус площадки опирания a (3) и перемещения сферического штампа δ (4) в зависимости от приложенной силы Q имеют вид

$$a = \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{Q \cdot (1 - \nu^2)}{E} \cdot R \right]^{1/3}, \quad (3)$$

$$\delta = \left[\frac{3}{4} \cdot \frac{Q(1 - \nu^2)}{E \cdot \sqrt{R}} \right]^{2/3}. \quad (4)$$

При известных значениях δ и Q решение (5) может быть использовано для оценки модуля упругости асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях.

$$E = 0,75 \cdot \frac{Q \cdot (1 - \nu^2)}{\delta \cdot \sqrt{\delta \cdot R}}. \quad (5)$$

При циклическом нагружении штампа постоянной нагрузкой, в результате накопления остаточных деформаций и увеличения площади поверхности опирания под штампом формируется область установившихся напряжений $\sigma_{nz} = \sigma_{yz}$, которые не превосходят упругих характеристик конструктивного слоя покрытия и могут характеризовать его прочностные свойства [4, 5]. При неоднократном приложении нагрузки происходит накопление остаточных деформаций и область жесткости увеличивается с C_1BC до C'_1BC' . Угол внутреннего трения - постоянный конус жесткости - будет определяться суммарной остаточной деформацией и соответственно радиусом a . При этом сформировавшаяся поверхность сводит к минимуму влияние неоднородности материала слоя, а практическое отсутствие остаточных деформаций позволяет рассматривать конструктивный слой при данных напряжениях как упругое полупространство. Метод циклического вдавливания сферического штампа был применен для определения угла внутреннего трения и силы сцепления в конструктивном слое покрытия мостового сооружения. При этом рассматривалась модель вдавливания сферического штампа в упругопластическую среду (рис. 2).

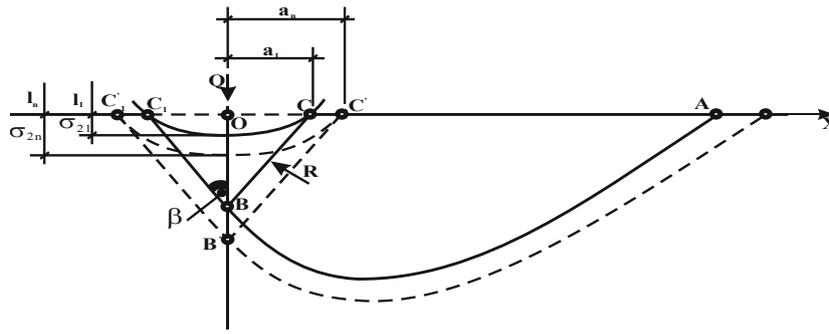


Рис. 2. Модель вдавливания штампа в полупространство

Рассматривая напряжения на образующей конуса BC, можно установить, что на данной поверхности наблюдаются простые силы сжатия, что позволяет в соответствии с теорией Мора составить два уравнения равновесия при установившемся напряжении и при первом нагружении:

$$\sigma_y \cdot \sin(45 - \varphi/2) = 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg}(45 + \varphi/2), \quad (6)$$

$$\sigma_1 \cdot \sin(45 - \varphi/2) = 2 \cdot C \cdot \operatorname{tg}(45 + \varphi/2) + C \cdot l_j \cdot \sin(45 - \varphi/2), \quad (7)$$

где σ_1 и σ_y - соответственно напряжения при первом и после n - циклов нагружения;

φ - угол внутреннего трения;

C - сцепление между частицами материала слоя;

l_j - суммарная деформация после n - циклов нагружения

$$l_j = \sum l_{oj} + \delta_n, \quad (8)$$

где l_{oj} - остаточные деформации;

δ_n - упругие деформации.

Решение системы тригонометрических уравнений позволяет определить угол внутреннего трения:

$$\operatorname{tg}(45 + \varphi/2) = \sqrt{-\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{\sigma_y \cdot l_j}{2 \cdot (\sigma_1 - \sigma_y)}\right)^2}}. \quad (9)$$

Показатель сцепления определяется из первого уравнения системы уравнений равновесия (6) при установившемся напряжении.

Учитывая время и количество нагружений, упругие и вязко - упругие свойства материалов и используя теорию наследственной ползучести и соотношение Больцмана - Вольтерры при моделировании упругопластических свойств материалов общая относительная деформация составит

$$\varepsilon^{n,t} = \frac{\sigma}{E_y} + \frac{\sigma^2}{E_d [R]} \cdot \frac{\lg n}{\lg N} \cdot (e^{t/t_p} - 1), \quad (10)$$

где R - предел прочности материала на сжатие;

E_y и E_d - модули упругости и деформации;

σ - напряжение сжатия;

N - число нагружений, которые должен выдержать материал до разрушения;

n - реализованное число нагружений;

t - время действия напряжения;

t_p - время релаксации напряжений.

Проанализировав полученные в результате испытаний асфальтобетонного покрытия

характеристики, полученные данным методом, следует отметить, что, так как асфальтобетон в реальных условиях работает как упруго-вязко-пластичный материал, при вдавливании сферического штампа упруго-вязко-пластические свойства асфальтобетона будут отражаться в соотношении упругих δ и остаточных $\ell_{ост.}$ деформаций, а в местах воздействия штампа может быть различное соотношение частиц минеральной части асфальтобетона, поэтому при нагружении штампа статической нагрузкой значения показателей деформаций в различных точках покрытия будут значительно отличаться друг от друга. Этот недостаток сводится к минимуму циклическим нагружением сферического штампа ступенчатой нагрузкой в одной точке испытания. В случае неоднократного воздействия на полупространство жестким сферическим штампом с постоянной нагрузкой происходит накопление остаточных деформаций, в месте контакта происходит плотное прилегание штампа к поверхности асфальтобетона, а сформировавшаяся сфера сводит к минимуму влияние неоднородности материала на результаты испытания. Практическое отсутствие остаточных деформаций при последних циклах нагружения позволяет рассматривать асфальтобетон как упругое полупространство, т.е. наблюдается работа материала в упругой стадии.

Максимальное значение давления, согласно результатам проведенных испытаний методом вдавливания сферического штампа, равное $1,5 p_{cp}$, зафиксировано в центре площадки соприкосновения; на окружности контакта с поверхностью значение давления нулевое. Эпюра распределения давления представляет поверхность полусфер, что приближается к распределению напряжений от действия колеса автомобиля (рис. 3).

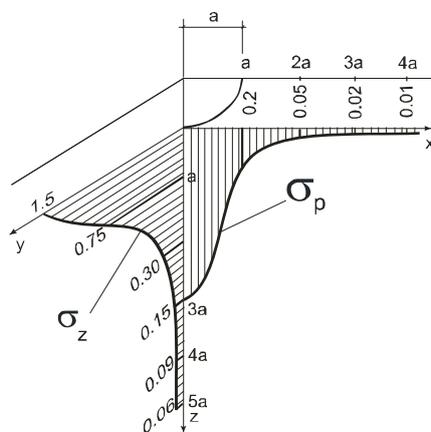


Рис. 3. Распределение напряжений в долях от P_{cp} под действием шарового штампа

Для определения деформационно-прочностных свойств асфальтобетона и асфальтобетонных покрытий использовался сферический штамп радиусом 63,5 мм с максимально прикладываемой нагрузкой величиной 200 кгс.

При определении деформационно-прочностных свойств в натуральных условиях для слоя покрытия величина погружения и среднее давление на поверхности штампа ограничивались активной зоной, т.е. не больше толщины слоя. В свою очередь глубина погружения штампа, радиус отпечатка и активная зона будут зависеть от крупности фракции щебеночной

составляющей смеси.

В лабораторных условиях определение деформационно-прочностных характеристик производилось на стандартных цилиндрических образцах. При этом активная зона не выходила за пределы образцов и результаты испытаний образцов в лабораторных и натуральных условиях характеризовались достаточно высокой схожимостью [3, 4].

Данный метод позволяет также определить установившиеся напряжения, угол внутреннего трения и сцепление для асфальтобетона как в лабораторных условиях, так непосредственно на покрытиях искусственных сооружений. При этом оценка будет производиться при различных температурах, не разрушая покрытия. В местах, где имеются сдвиговые деформации, можно будет оперативно определять, за счет каких факторов они происходят и какие меры необходимы для повышения сдвигоустойчивости.

ВЫВОДЫ

Предлагаемый метод для оценки прочностных и деформационных характеристик асфальтобетонных покрытий мостовых сооружений позволит:

1. Ускорить оперативность и повысить достоверность оценки качества строительства покрытий, так как предполагается производить сравнение показателей на разных этапах: при подборе смеси; по пробам, взятым из смесителя и непосредственно в натуральных условиях; при устройстве покрытия без его разрушения;
2. Принимать оперативные решения по внесению изменений в состав смесей, технологию укладки и уплотнения;
3. Эксплуатирующим организациям получать полную, объективную и достоверную информацию о транспортно-эксплуатационном состоянии и характеристиках, соответствующих требованиям безопасности движения, а также планировать распределение и использование средств, направляемых на содержание и ремонт дорожных сооружений.

Библиографический список

1. Овчинников И.Г. Дорожная одежда на мостовых сооружениях: отечественный и зарубежный опыт/ И.Г. Овчинников, И.И. Овчинников // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 5 (24). – Сентябрь-октябрь. – С. 1- 30.
2. Волокитин В.П. Испытание асфальтобетона сферическим штампом / В.П. Волокитин, А.В. Еремин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. –С. 66-71.
3. Волокитина О.А. Использование метода вдавливания сферического штампа для определения расчетных характеристик различных конструктивных слоев нежестких дорожных одежд/ О.А. Волокитина // Строительство и реконструкция. – 2010. – № 6 (32). – С. 70-77.

4. Волокитина О.А. Особенности проектирования и расчета нежестких дорожных одежд на основе реальных расчетных характеристик конструктивных слоев/ О.А. Волокитина // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – №4(20). – С. 100-106.
5. Волокитин В.П. Теоретическое обоснование метода определения деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонных покрытий на мостовых сооружениях/ В.П. Волокитин, О.А. Волокитина, А.В. Еремин // Сборник ФАУ «РОСДОРНИИ». «Дороги и мосты» – 2017. – Выпуск 37/ 1. – С. 205-212.

References

1. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I. Road base on bridge structures domestic and foreign experience. Internet journal “Naukovedenie”. – 2014. – № 5 (24). – September - October. – P. 1- 30.
2. Volokitin V.P., Eryomin A.V. Asphalt concrete testing by the spherical stamp. Scientific bulletin of VGASU. Construction and Architecture. – 2010. – № 1. –P. 66-71.
3. Volokitina O.A. Application of the method of spherical stamp damping for definition of design characteristics of different structural layers of non rigid road base. Construction and reconstruction. – 2010. – № 6 (32). – p. 70-77.
4. Volokitina O.A. Peculiarities of design and calculation of non rigid road base based on the real calculation characteristics of structural layers. Scientific bulletin of VGASU. Construction and Architecture. – 2010. – №4(20). – P. 100-106.
5. Volokitin V.P., Volokitina O.A. Eryomin A.V. Theoretical substantiation of the method of deformative strength characteristics of asphalt concrete blankets on bridge constructions. Collection of FAU “Rosdornii” “Roads and bridges” – 2017. – Issue 37/ 1. – P. 205-212.