

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛОИСТОГО ПОКРЫТИЯ МЕТОДОМ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© Э.Д. Большухин¹, В.В. Алексеенко²

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

Методом дискретных элементов в двухмерной постановке определен модуль упругости слоистого покрытия в зависимости от толщины и пористости верхнего слоя.

Ключевые слова: метод дискретных элементов, асфальтобетон, модуль упругости, прочность, слоистые композиты.

THE STUDY OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE LAYERED COATINGS USING DISCRETE ELEMENT METHOD

© E.D. Bolshukhin, V.V. Alekseenko

National Research Irkutsk State Technical University, 83 Lermontov str., Irkutsk 664074, Russian Federation

The elastic modulus of the layered coating depending on the thickness and porosity of the upper layer is determined by the method of discrete elements in a two-dimensional formulation.

Keywords: discrete element Method, asphalt concrete, elastic modulus, strength, layered composites

Долговечность автомобильной дороги в значительной степени определяется физико-механическими характеристиками асфальтобетона, в то же время, значительный вклад в работу асфальтобетона дает его взаимодействие с щебеночным основанием. Одной из важнейших характеристик такой слоистой композиции является модуль упругости. В самом деле, модуль упругости определяет величину деформации слоистой системы при заданных нагрузках. При небольших нагрузках такие деформации обратимы, т.е. исчезают при снятии нагрузки, но при больших усилиях деформация будет иметь небольшую пластическую составляющую. Чем меньше модуль упругости слоистой композиции, тем больше упругие и неупругие деформации возникают в материале при заданной нагрузке. При накоплении в материале достаточного количества пластических деформаций происходит его разрушение. Большие механические нагрузки и деформации возникают в структуре автомобильной дороги при проезде большегрузного автотранспорта и таким образом интенсивность движения определяет срок службы автомобильной дороги.

Основной целью данной работы являлось изучение модуля упругости и прочности конструкции похожей по строению и физико-механическим характеристикам на конструкцию автомобильной дороги от толщины конструктивных слоев. В настоящее время наиболее перспективным методом исследования материалов имеющих явно неоднородную структуру, причем размер неоднородности сравним с толщиной слоя, является метод дискретных элементов [1–5].

Основными задачами, которые были решены в этой работе были:

- а) выявить влияние толщины слоя асфальтобетона на модуль упругости и прочность слоистой системы;
- б) выявить влияние коэффициента уплотнения асфальтобетона на модуль упругости и прочность слоистой системы;

Метод исследования - дискретная модель асфальтобетона. Предлагаемая модель асфальтобетона является модификацией модели дискретной среды, приведенной в [6, 7]. В этих работах приведено подробное описание алгоритма вычислений, вида сил и способа учета этих сил при реальном взаимодействии твердых частиц. Далее мы приведем лишь наиболее важные особенности именно нашей модели, которые помогут понять механизм взаимодействия твердых частиц. Исследуемый в данной работе композиционный материал состоит из каменного наполнителя и асфальтовязующего. К первому относятся щебень и песок; ко второму – битум с модифицирующими его свойствами минеральными порошками и неорганическими или органическими компонентами типа полимеров, резины и др. Скелетная часть асфальтобетона состоит из зерен щебенки, поры которых частично или полностью

¹ Большухин Эдуард Денисович, студент гр. ЭВБм-16-1 Института архитектуры, строительства и дизайна, e-mail: bolshukhin.ed@mail.ru

Edward D. Bolshukhin, student of gr. EBM-16-1 Institute of architecture, construction and design, e-mail: bolshukhin.ed@mail.ru

² Алексеенко Виктор Викторович, доцент кафедры строительного производства Института архитектуры, строительства и дизайна, e-mail alavic59@yahoo.com

Viktor V. Alekseenko, associate Professor, Department of construction production, Institute of architecture, construction and design, e-mail alavic59@yahoo.com

заполнены пластичной мастикой – смесью асфальтовяжущего с песком. Зерна щебня, имеющие форму (рис. 1), непосредственно на своих контактах склеены тонким слоем асфальтовяжущего.

На рис. 2 изображена модель слоистой системы, где вверху расположен индентор (имитирующий колесо автомобиля), давящий на верхний слой - асфальтобетон и нижний слой - щебеночное основание. Модель имеет следующие характеристики:

- Диаметр индентора – 0,3 м;
- Модуль упругости индентора – 1000 МПа;
- Толщина слоя асфальтобетона – от 12 см до 6 см;
- Толщина щебеночного основания – 0,5 м;
- Модуль упругости частиц щебня – 1000 МПа.

Программа DEM2D строит график зависимости силы от смещения с помощью которого мы видим прочность слоистой системы, также в какой момент времени и как происходит разрушение, по этому же графику смотрим модуль упругости всей системы. Прочностью считаем максимальное значение силы, а модуль упругости как тангенс угла наклона начального линейного участка на графике силы-смещения.

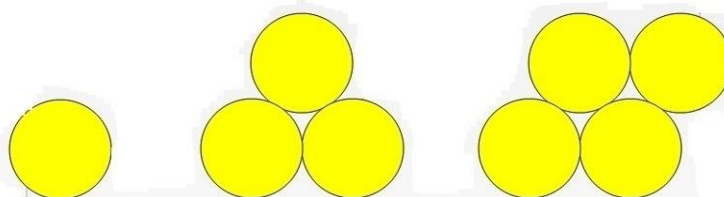


Рис. 1. Форма не разрушаемых частиц щебня мастикой без песка или с его малой долей

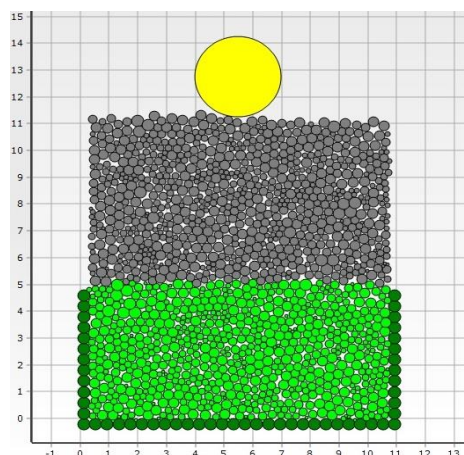


Рис. 2. Слоистая система, упрощенная модель реальной автомобильной дороги

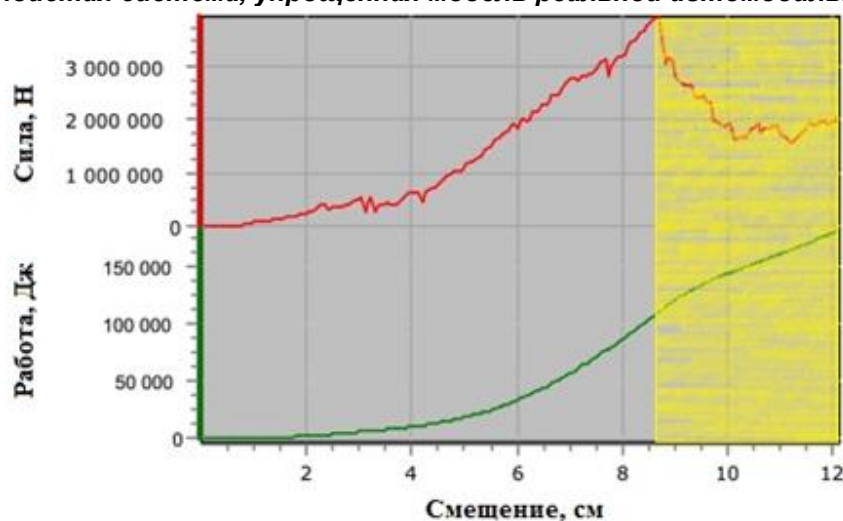


Рис. 3. График зависимости силы от смещения (в выделенной области), где происходит резкий спад силы, происходит разрушение

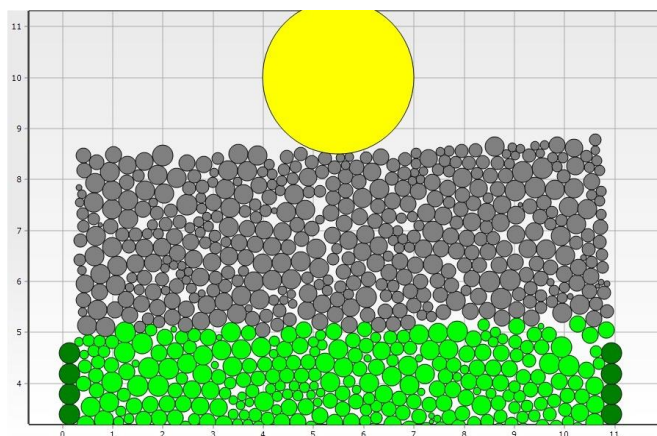


Рис. 4. Модель слоистой системы в момент разрушения

Склеивающее воздействие связующего на контактах зерен щебня моделируется введением виртуальных пружин прилипания. Вводятся они при соприкосновении диска одного кластера с диском другого кластера. В процессе смещения и вращения дисков концы пружины прилипания расходятся и между дисками возникают силы прилипания пропорциональные ее длине и заданной жесткости, пружина разрывается при достижении ею заданной предельной величины. При повторном контакте данных дисков между ними снова вводится пружина прилипания.

Схему сил, действующих в нашей модели, можно представить в виде (рис. 3). На данном рисунке использованы в основном общепринятые обозначения [8]. Оригинальное обозначение имеет только сила прилипания.

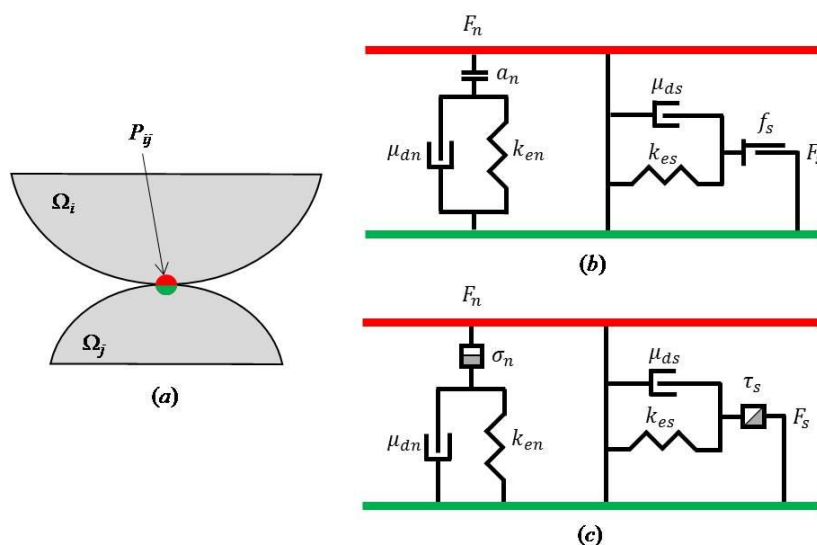


Рис. 5. Схема вязкоупругого контактного взаимодействия между частицами Ω_i и Ω_j контактирующими в точке P_{ij}

На рис. 5. Представлена схема вязкоупругого контактного взаимодействия между частицами Ω_i и Ω_j контактирующими в точке P_{ij} (рис. а). На рис. б представлена схема описывающая контакт «мастика-мастика», на рис.с – схема описывающая контакт «частица-мастика» и «частица-частица». На рисунке используются стандартные обозначения: μ_{dn} и μ_{ds} – демпфирующий фактор для нормальных и сдвигающих сил соответственно; a_n – наличие жесткого контакта при столкновении частиц, k_{en} и k_{es} – жесткость пружины при нормальном контакте и при сдвиге соответственно, σ_n и τ_s – характеризуют жесткость пружины прилипания в нормальном направлении и в касательном соответственно, F_s – коэффициент трения. Наполовину зачерненный квадрат обозначает силу прилипания.

Таким образом, приведенная модель взаимодействия между элементами асфальтобетона обладает следующими свойствами. Мастика, состоящая из частиц песка, взаимодействующих между собой и с асфальтовязущим путем отталкивания, трения и притяжения будет пластична и относительно легко изменять свою форму под действием внешних сил. Скелет асфальтобетона, состоящий из зерен щебня, склеенных асфальтовязущим посредством введения пружин прилипания, приобре-

тает сдвиговую прочность и прочность на растяжение. Обратим внимание на то, что характеристика пружины прилипания на разрыв определяется свойствами асфальтовяжущего, а не битума.

Результаты численных экспериментов и обсуждение. При исследовании физико-механических характеристик асфальтобетона, как правило, используют три схемы определения прочности цилиндрических образцов: одноосное сжатие, растяжение при расколе (indirect tensile test), сжатие по Маршаллу. В нашей модели используется одноосное сжатие.

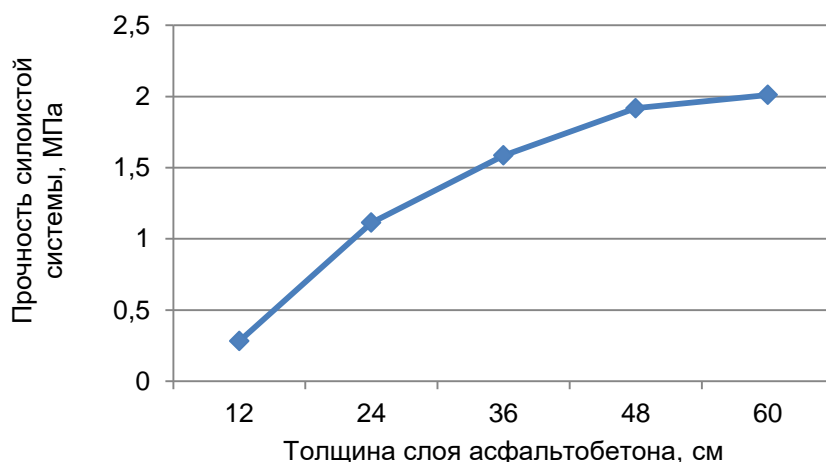


Рис. 6. Зависимость прочности слоистой системы при одноосном сжатии от толщины слоя асфальтобетона

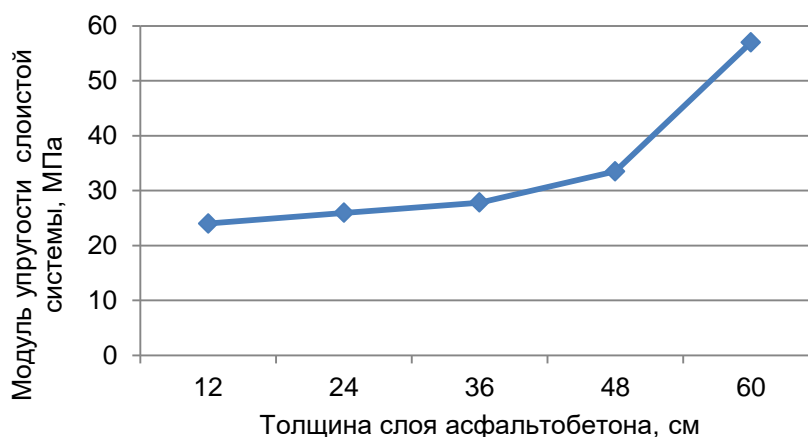


Рис. 7. Зависимость модуля упругости слоистой системы от толщины слоя асфальтобетона

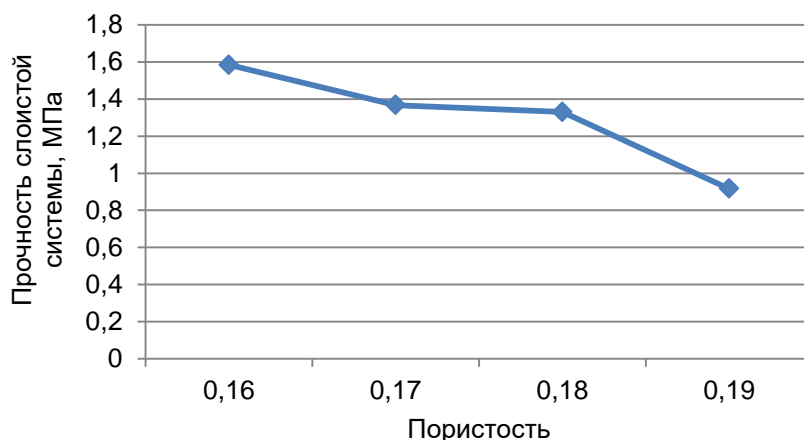


Рис. 8. Зависимость прочности слоистой системы при одноосном сжатии от пористости асфальтобетона толщиной 36 см и пористостью 17.5

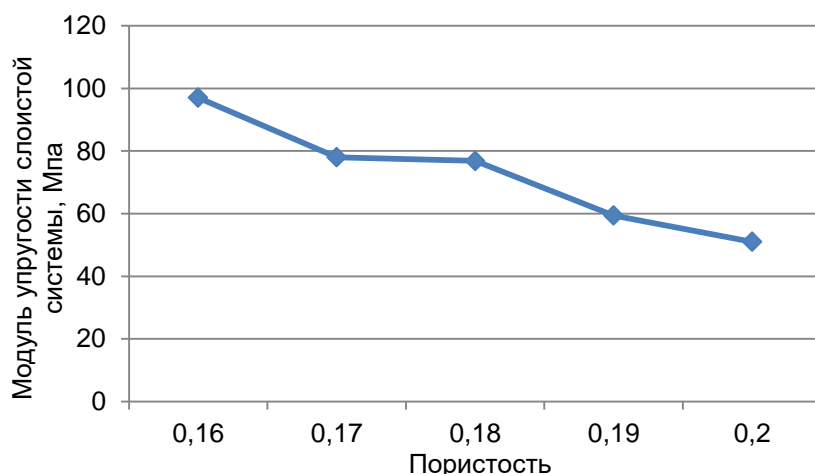


Рис.9. Зависимость модуля упругости слоистой системы при одноосном сжатии от пористости толщиной 36 см пористостью 17.5

ВЫВОДЫ

Численно методом дискретных элементов с помощью программы DEM2D проанализирована упрощенная модель слоистой конструкции, имитирующей дорожное полотно. Состоящей из индентора (имитирующего колесо автомобиля), верхнего слоя – асфальтобетона и нижнего слоя – щебеночного основания.

Метод дискретных элементов позволяет установить основные физические параметры, определяющие прочность и модуль упругости реальной автомобильной дороги. Подтвердилось, что с увеличением толщины слоя асфальтобетона прочность и модуль упругости увеличиваются. Также программа показала, что с увеличением пористости модуль упругости и прочность падает.

Таким образом, мы делаем вывод, что метод дискретных элементов, а конкретно программа DEM2D, адекватно описывает реальные зависимости между свойствами слоистой системы.

Авторы выражают искреннюю благодарность Хан Г.Н., который не только предоставил программу по методу дискретных элементов, но и производил необходимые модификации программы по просьбе авторов и внес неоценимый вклад в написание статьи.

Библиографический список

1. Cundall P.A., Strack O.D.L. A discrete numerical model for granular assemblies // Geotechnique. 1979. № 29. P. 47–65.
2. Zhang D., Whiten W. The calculation of contact forces between particles using spring and damping models // Powder Technology. 1996. Vol. 88. P. 59–64.
3. Zhang D., Whiten W. J. A new calculation method for particle motion in tangential direction in discrete element simulations // Powder Technology. 1999. Vol. 102, N 3. P. 235–243
4. Potyondy, D.O., and P.A. Cundall A Bonded-Particle Model for Rock // Int. J. Rock Mech.& Min. Sci. 2004. № 41 (8). P. 1329–1364.
5. Дорофеев С. О., Полианчик Е. В., Манелис Г. Б. Численное моделирование течения би-дисперсного сыпучего материала во вращающемся реакторе // ДАН. 2008. Т. 422, № 5. С. 615–617.
6. Хан Г.Н. О несимметричном режиме разрушения массива горных пород в окрестности плоскости // Физическая мезомеханика. 2008. Т. 11, N1. С. 109–114.
7. Хан Г.Н. Моделирование методом дискретных элементов динамического разрушения горной породы // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 1. С. 110–117.
8. Potyondy, D.O. The Bonded-Particle Model as a Tool for Rock Mechanics Research and Application: Current Trends and Future Directions // Geosystem Engineering. 2015. N 18(1). P. 1–28.