

УДК 625.85

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЕГО СТРУКТУРЫ

В.В. Маляр, доц., к.т.н., Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Приведены результаты конечно-элементного моделирования структуры асфальтобетона. Показано влияние неоднородности структуры на концентрации напряжений в материале.

Ключевые слова: асфальтобетон, модуль упругости, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние.

РОЗРАХУНОК НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ АСФАЛЬТОБЕТОНУ НА ОСНОВІ МОДЕЛЮВАННЯ ЙОГО СТРУКТУРИ

В.В. Маляр, доц., к.т.н., Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено результати скінченно-елементного моделювання структури асфальтобетону. Показано вплив неоднорідності структури на концентрації напружень у матеріалі.

Ключові слова: асфальтобетон, модуль пружності, метод скінченних елементів, напружено-деформований стан.

DESIGN OF THE STRAIN STRESSED STATE OF ASPHALT CONCRETE ON BASIS OF MODELING OF ITS STRUCTURE

V. Maliar, Assoc. Prof., Cand. Sc. (Eng.),
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The finite element modeling results of the asphalt concrete structure are presented. The effect of structural inhomogeneity on the stress concentration in the material is shown.

Key words: asphalt concrete, modulus of elasticity, finite element method, strain stressed state.

Введение

Асфальтобетон – многокомпонентный материал, его структура неоднородная, входящие в него составляющие имеют разные физические характеристики. Вяжущее в асфальтобетоне (битум), в зависимости от температуры, может находиться в хрупком, вязкоупругом и текучем состоянии. Твердость битума во всех случаях значительно меньше, чем наполнитель асфальтобетона (щебень, песок и минеральный порошок). Битум не имеет кристаллической структуры, но при определенных условиях может приобретать свойства твердого тела. В свою очередь, наполнитель имеет кристаллическую струк-

туру и его свойства практически не зависят от температуры.

С позиции физико-химической механики строительных материалов, асфальтобетон – многофазный материал, который состоит из трех фаз: твердая фаза – наполнитель, жидкая – битум и газообразная – воздушные поры. Наполнитель и поры имеют разные размеры. Так, размер зерен минерального порошка – 0,071 мм (70 %), размер зерен щебня – до 40 мм. Размеры пор меняются от десятков микрон до 1–2 миллиметров, их количество зависит от плотности структуры асфальтобетона.

Анализ публикаций

Сложную многокомпонентную структуру асфальтобетона принято разделять на три структуры (одна в одной): макро-, мезо- и микроструктура [1]. Таким образом, в строительном материаловедении асфальтобетон рассматривается как многокомпонентный, многофазный, грубодисперсный материал с неоднородной структурой. В то же время в расчетах конструкций дорожных одежд вводят допущения, что этот материал упругий, изотропный с линейными физическими свойствами.

Также при использовании асфальтобетона важными являются его расчетные характеристики. Прогнозирование значения модуля упругости асфальтобетона и его прочности возможно на знании свойств его компонентов и их количества. Для этого предлагают различные модели: математические, реологические, дискретные и т.п., обзор которых приведен в [2].

Цель и постановка задачи

Целью настоящей работы было прогнозирование значений модуля упругости асфальтобетона на основе конечно-элементного моделирования его структуры, установление влияния заполнителя на упругие свойства асфальтобетона, определение напряженно-деформированного состояния в структуре асфальтобетона и перенапряженных зон из-за неоднородности структуры и наличия пор при нагружении и охлаждении образца.

Методика проведения исследования

Для исследований использовали стандартные образцы асфальтобетона разных составов. Эти образцы разрезали, а затем сканировали плоскость разреза (рис. 1). Четко видимыми были зерна наполнителя с размерами более 3–5 мм. На основе фотографии поверхности представлена геометрическая модель образца асфальтобетона с размерами зерен наполнителя более 5 мм (рис. 2). Доля наполнителя в матрице составляла 38,4 %, что соответствует структуре мелкозернистого асфальтобетона «тип Б». Такая геометрическая модель может отражать макроструктуру асфальтобетона. Аналогичным образом можно представить мезо- и микроструктуру асфальтобетона, используя большее разрешение сканера или другие методы отображения структуры.

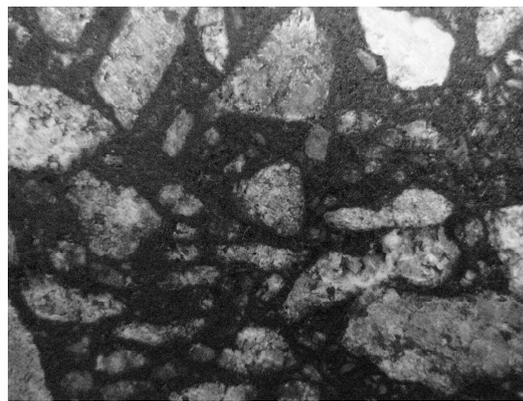


Рис. 1. Фотография поверхности разреза асфальтобетонного образца



Рис. 2. Изображение двумерной геометрической модели асфальтобетона

На макроуровне матрицу можно считать однородной, изотропной с небольшим количеством макропор с размерами 1–2 мм [3]. Поэтому в модель, представленную на рис. 2, воздушные поры были введены искусственно, способом случайного удаления элементов матрицы.

Входные параметры физической модели были представлены: модулями упругости матрицы макроструктуры (асфальтового раствора) и наполнителя (гранитного щебня) E , их коэффициентами поперечной деформации μ и температурного расширения α (табл. 1).

Данные по модулю упругости матрицы взяты на основании лабораторных испытаний песчаного асфальтобетона «тип Г» на вибростенде ХНАДУ [4]. Это значение примерно соответствует свойству материала при температуре 20 °С и частоте деформирования 0,5 Гц.

Таблица 1 Свойства компонентов

Свойства	Значения	
	матрица	наполнитель
E , МПа	1000	50000
μ	0,3	0,15
α , 1/град	$7 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-6}$

Модуль упругости матрицы меняет свои значения в зависимости от температуры и частоты деформирования (времени действия нагрузки). Зная температурно-частотные зависимости этого показателя, можно прогнозировать свойства асфальтобетона в широком температурном и временном диапазонах, т.е. при разных условиях его эксплуатации.

Граничные условия и нагрузка

На верхние асфальтобетонные слои воздействует нагрузка от колес автомобилей и температурные факторы, поэтому рассмотрены две схемы работы материала: первая – образец асфальтобетона опирался нижней частью, сверху прикладывалось давление 0,6 МПа; вторая – образец асфальтобетона зажимался с двух сторон и охлаждался. Начальная температура $t_n = +20$ °С, конечная $-t_k = -30$ °С.

В работе был использован численный метод расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) на основе программного комплекса ANSYS, где математической основой, на которой построен вычислительный аппарат, есть метод конечных элементов (МКЭ). Точность расчета зависела от правильного выбора и размера конечного элемента. Использовали плоский четырехугольный двухмерный (2D) конечный элемент PLANE 82 объемного НДС, который имеет 8 узлов, две степени свободы в каждом узле, совместные формы перемещений и может описывать модели с искривленными границами.

Результаты и их обсуждение

Результаты решения включали значения напряжений в каждой точке материала, а итогом работы программы на постпроцессорной стадии было их графическое представление в виде изолиний. Для общего представления об уровне НДС использовали интенсивности напряжений по Р. Мизесу.

На рис. 3 показаны результаты решения по первой схеме нагружения.

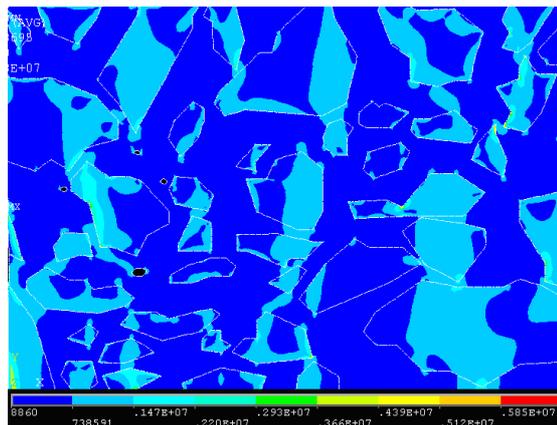


Рис. 3. Интенсивности напряжений в асфальтобетонном образце

Как видно из рисунка, напряжения в материале распределяются неоднородно. Наиболее опасными участками будут те, у которых прочность ниже (в данном случае – это матрица), а напряжения – наибольшие. Такие участки, как правило, возникают между близко расположенными зернами наполнителя. Здесь значения напряжений могут достигать до 300 % от приложенного давления. Вблизи острых очертаний заполнителей и пор концентрации напряжений достигают значений 2,2 МПа, что при определенных условиях могут послужить причиной микроразрушений.

На рис. 4 показаны результаты решения задачи по второй схеме (охлаждение образца, зажатого с двух сторон). Здесь наблюдаются температурные напряжения, а также в некоторых местах матрицы видны зоны концентрации напряжений, значения которых увеличиваются в 2–3 раза.

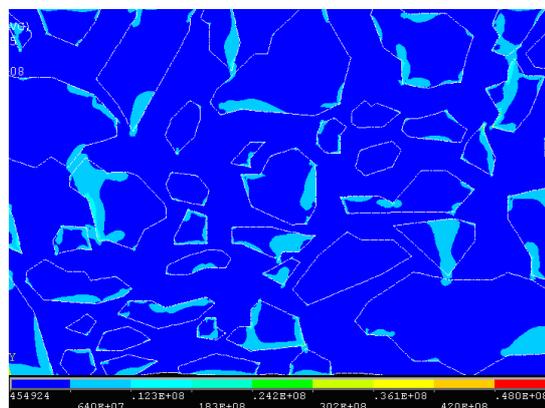


Рис. 4. Температурные напряжения в асфальтобетоне

В данном исследовании показано только наличие концентраций напряжения в струк-

туре асфальтобетона, и поэтому изначально были приняты материалы (матрица и наполнитель) с упругими свойствами. Реально, даже при отрицательных температурах, матрица не идеально упругая и имеет релаксационную способность. Учет релаксации напряжений позволит определить абсолютные величины температурных напряжений с понижением температуры во времени.

Аналогично представленным данным интенсивности напряжений в асфальтобетоне можно сделать расчет нормальных растягивающих и сжимающих, а также касательных напряжений. Такие расчеты можно проводить для каждого конкретного условия работы асфальтобетона в дорожной конструкции.

Для сопоставления (проверки) результатов расчета была взята геометрическая модель асфальтобетона [2]. Исходные данные по модулям упругости компонентов и результаты расчета методом дискретных элементов сравнивали с полученными здесь решениями методом конечных элементов (табл. 2). Данные представлены для асфальтобетона с содержанием фракции 1,18–25 мм – 68,3 %, при температуре 0 °С и частотах деформирования 0,1; 1,0; 10 Гц соответственно. Полученные результаты сопоставимы с [2], их разница не превышает 8 %.

Таблица 2. Сравнение значений модулей упругости асфальтобетона

Модуль упругости матрицы, МПа [2]	Модуль упругости наполнителя, МПа [2]	Модуль упругости асфальтобетона, МПа [2]	Модуль упругости асфальтобетона (МКЭ), МПа
4800	55500	10700	11200
6300	55500	13700	14800
10000	55500	19900	20000

Полученные данные могут быть предпосылкой для развития дальнейших теоретических исследований на основе предложенной модели и численного метода решения – МКЭ. В связи с этим представляет интерес циклическая усталость материала, где возникает разрушение элемента в перенапряженной зоне, который впоследствии исключается из гео-

метрической модели. Здесь можно наблюдать развитие трещин. Такой подход так же может быть применен для статической усталости асфальтобетона, при условии учета ползучести матрицы.

Выводы

На основе предложенной конечно-элементной модели структуры асфальтобетона сделан анализ напряженно-деформированного состояния под действием нагрузки и температурного сжатия при охлаждении образца, закрепленного с двух сторон. Результаты этого анализа показали, что от неоднородности структуры в матрице асфальтобетона могут возникать концентрации напряжений. В частности, в зонах сближения заполнителей, возле острых форм заполнителей и рядом с порами напряжения возрастают в среднем в 2–3 раза.

Литература

1. Волков М.И. К вопросу о физико-химических основах технологии асфальтобетона / М.И. Волков, В.М. Смирнов // Труды ХАДИ. – 1961. – Вып. 26 – С. 3–9.
2. You Z. Three-Dimensional Discrete Element Models for Asphalt Mixtures / Z. You, S. Adhikari, Q. Dai // Journal of Engineering Mechanics. – 2008. – Vol. 134(12)/ – P. 1053–1063.
3. Gruber I. A computational study of the effect of structural anisotropy of porous asphalt on hydraulic conductivity / I. Gruber, I. Zinovik, L. Holzer et al. // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 36, November. – P. 66–77.
4. Золотарев В.А. Долговечность дорожных асфальтобетонов / В.А. Золотарев. – Х.: Вища школа, 1977. – 116 с.

Рецензент: В.П. Кожушко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 29 октября 2014 г.