

УДК 539.3

Д.А. ЧЕРНОУС, С.В. ШИЛЬКО, кандидаты техн. наук

Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси, Гомель

С.Е. КРАВЧЕНКО, канд. техн. наук

Белорусский дорожный научно-исследовательский институт, Минск

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСФАЛЬТОБЕТОНА

Предложен упрощенный аналитический метод определения деформационно-прочностных параметров щебеночного асфальтобетона, как двухкомпонентного дисперсно-армированного композита. Получены расчетные зависимости эффективного модуля Юнга и предела прочности при растяжении асфальтобетона от объемной доли щебня

Ключевые слова: асфальтобетон, дисперсно-армированный композит, объемное содержание наполнителя, деформативность, прочность, эффективные механические характеристики, мезомеханика

Введение

Качество и долговечность дорожных покрытий определяет эффективность транспортных коммуникаций и во многом обеспечивает нормальное функционирование автомобильной техники. При изготовлении и ремонте дорожных покрытий широко используются асфальтобетонные композиты на основе битума, минерального порошка, песка и щебня [1–3]. Несмотря на многолетний опыт практического использования указанных материалов, остается актуальной задача оптимизации состава и структуры асфальтобетонов с целью повышения надежности и долговечности дорожных покрытий для различных условий эксплуатации. С этой целью необходимо выполнить анализ напряженно-деформированного состояния асфальтобетона и установить влияние свойств и содержания компонент на эффективные механические параметры.

Использование большинства известных методик механики композитов [4–6] для расчета деформационно-прочностных характеристик асфальтобетонов затруднено рядом факторов, включая изменение условий межфазного взаимодействия в результате конкурирующих процессов образования трещин и их залечивания; существенную нелинейность деформирования и значительную вязкость связующего (битума и модифицирующих добавок); близость объемного содержания жесткого наполнителя к предельному, вплоть до контакта соседних включений. Альтернативное использование численных методов анализа напряженно-деформированного состояния [7, 8] является трудоемким и не позволяет получить расчетные соотношения, пригодные для параметрического анализа в широком диапазоне для оптимизации составов.

Целью настоящей работы является построение упрощенной аналитической методики расчета механических характеристик асфальтобетона.

Описание расчетной методики

В рамках настоящей работы будем рассматривать асфальтобетон как двухкомпонентный композит, матричная фаза которого представляет собой асфальтовязующее (смесь битума, песка и минерального порошка), а наполнителем является щебень. Для анализа деформирования данного композита используем метод выделения структурного элемента, описанный в работах, относящихся к физической мезомеханике материалов [9, 10]. Предлагаемый структурный элемент представляет собой куб, образованный материалом матрицы и содержащий единичное сферическое включение. В соответствии с упрощенной расчетной методикой, разработанной в [10], при использовании указанного структурного элемента эффективный модуль Юнга композита E можно вычислить по формуле:

$$E = E_m \left(1 - \gamma^2 + \frac{\gamma^2}{1 - \gamma + \chi\gamma} \right). \quad (1)$$

Здесь E_m — модуль Юнга материала матрицы; χ — отношение модуля Юнга материала матрицы к модулю Юнга включения, которое для большинства асфальтобетонов можно принять равным 0,02; γ — параметр, определяемый объемной долей щебня φ :

$$\gamma = \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\max}} \right)^{1/3}.$$

Здесь $\varphi_{\max} = 0,605$ — максимальное значение объемной доли наполнителя. Аналитическая зависимость (1)

хорошо согласуется с результатами использования известного эмпирического соотношения [6]:

$$\frac{E}{E_m} = \frac{2 + \varphi}{2(1 - 2\varphi)}. \quad (2)$$

На рисунке 1 представлено сопоставление расчетных оценок относительного модуля Юнга композита E/E_m , полученных на основе соотношений (1) и (2). Установлено, что в диапазоне объемной доли жесткого наполнителя (щебня) $\varphi < 40\%$ среднее относительное отклонение аналитических оценок от значений, полученных по формуле (2), составляет 6 %.

Анализ деформирования структурного элемента позволяет не только прогнозировать упругие характеристики асфальтобетона, но и рассчитывать предел прочности исследуемого композита. При этом в качестве критерия прочности принимается условие достижения сдвиговыми напряжениями на границе раздела фаз некоторого предельного значения. Для расчета сдвиговых напряжений была осуществлена модификация модели Аутвотера [11, 12], традиционно используемой для волоконно-армированных композитов.

В ходе математических преобразований получено следующее выражение для предела прочности асфальтобетона при растяжении:

$$\frac{R}{R_0} = (1 - \gamma^2) \left[1 + \frac{\gamma^3(1 - \chi)}{1 - \gamma(1 - \chi)} \right]. \quad (3)$$

Здесь R_0 — предел прочности песчаного асфальтобетона (содержание щебня $\varphi = 0$). Как следует из рисунка 2, характер зависимости предела прочности от объемной доли щебня, описываемой функцией (3), хорошо согласуется с экспериментальными данными для щебеночного асфальтобетона [8].

Заключение

Проанализированы особенности расчета и прогнозирования механических характеристик асфальтобетона. В результате анализа напряженно-деформированно-

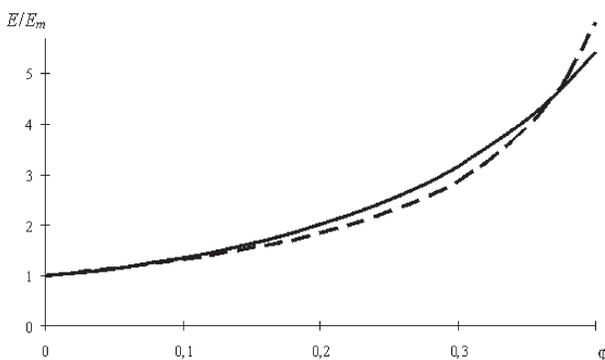


Рисунок 1 — Зависимость относительного модуля Юнга композита от объемной доли щебня: сплошная кривая — соотношение (1); пунктирная — соотношение (2)

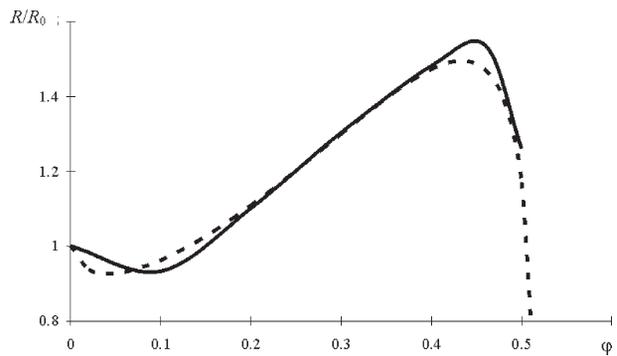


Рисунок 2 — Зависимость относительного предела прочности асфальтобетона от объемной доли щебня: сплошная кривая — эмпирическая зависимость; пунктирная — соотношение (3)

го состояния асфальтобетона, как двухкомпонентного композита, установлено, что использование метода выделения структурного элемента позволяет получить приемлемые аналитические оценки модуля упругости и предела прочности.

Список литературы

1. Автомобильные дороги / Я.Н. Ковалев [и др.] — Минск: Арт Дизайн, 2006. — 352 с.
2. Асфальтовый бетон / под ред. Л.Б. Гезенцвея. — М.: Транспорт, 1985. — 350 с.
3. Ковалев, Я.Н. Повышение эффективности работы автомобильных дорог как составной части автомобильного транспорта / Я.Н. Ковалев, А.Н. Тур, М.Г. Солодка // Автомобил. дороги и мосты. — 2008. — № 2. — С. 31—34.
4. Гузь, А.Н. Механика композитных материалов и элементов конструкций: в 3-х т. / А.Н. Гузь, Л.П. Хорошун, Г.А. Ванин. — Т. 1: Механика материалов. — Киев: Наук. думка, 1982. — 368 с.
5. Композиционные материалы: в 8 т. / под ред. Л. Браутмана, Р. Крока; пер с англ. — Т. 2: Механика композиционных материалов / под ред. Дж. Сендецки. — М.: Машиностроение, 1978. — 564 с.
6. Кристенсен, Р. Введение в механику композитов / Р. Кристенсен. — М.: Мир, 1982. — 334 с.
7. Кравченко, С.Е. Новые подходы к оценке структурной прочности асфальтобетона / С.Е. Кравченко // Автомобил. дороги и мосты. — 2008. — № 2. — С. 49—52.
8. Хархардин, А.Н. Структурная топология дисперсных материалов и композитов / А.Н. Хархардин, А.И. Топчиев // Строит. материалы. — Наука, 2006. — № 7. — С. 27—30.
9. Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материалов / под ред. В.Е. Панина. — Новосибирск: Наука, 1995. — Т. 1, 2.
10. Шилько, С.В. Особенности деформирования и описание упругих свойств наполненных эластомеров при растяжении / С.В. Шилько, Д.А. Черноус, С.Б. Анфиногенов // Каучук и резина. — 2008. — № 4. — С. 34—38.
11. Nayfeh, A.H. Thermomechanically induced interfacial stresses in fibrous composites / A.H. Nayfeh // Fibre Sci. Techn. — 1997. — № 10. — pp. 195—209.
12. Черноус, Д.А. Равновесие волокна при испытаниях образцов армированных термопластов / Д.А. Черноус // Механика. Теория, задачи, учебно-методич. разработки: сб. науч. тр. — Гомель: БелГУТ, 2006. — С. 101—107.

Chernous D.A., Shilko S.V., Kravchenko S.E.

Prediction of mechanical characteristics of asphalt concrete

The simplified analytical technique of stress-strength determination for asphalt concrete, assumed as two-component disperse-reinforced composite, has been proposed. The dependences of the effective Young's modulus and strength of asphalt concrete by tension on volume fraction of rubble have been obtained.

Поступила в редакцию 25.04.2010