

УДК 514.18

А.И. БУМАГА¹, А.В. НАЙДЫШ², Е.А. ГАВРИЛЕНКО³

¹Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

²Мелитопольский государственный педагогический университет имени Богдана Хмельницкого

³Таврический государственный агротехнологический университет

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АСФАЛЬТОБЕТОНА

В статье предложен способ геометрического моделирования свойств асфальтобетона, реализованный в БН-исчислении, который обеспечивает большую устойчивость к изменению входной информации, по сравнению с регрессионными математическими моделями.

Ключевые слова: геометрическая модель, регрессионная модель, БН-исчисление, физико-механические свойства, асфальтобетон.

A.I. BUMAGA¹, A.V. NAYDYSH², E.A. GAVRILENKO³

¹Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

²Melitopol State Pedagogical University named after Bogdan Khmelnytsky

³Tavria State Agrotechnological University

GEOMETRIC MODELING PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ASPHALTIC CONCRETE

Annotation

This article provides a method of geometric modeling properties of asphaltic concrete, implemented in BN-calculation, which provides greater resistance to the change in input data, compared with regression mathematical models. The aim of the research was to create a geometric model of the process according to the physico-mechanical properties of asphaltic concrete on the composition and quantity of its components, and its analytical description. The proposed model represents the dependence of compressive strength on four parameters: the concentration of term polymer Elvaloy, concentration polymer-waste production of epoxy resins on the surface of the slurry neutralization POES, penetration and temperature.

In work propose a geometric framework developed on the basis of experimental data analyzed restructured dissertations. Developed in the geometric scheme obtained by the method of rolling simplex not only combines four parameters described above, but also takes into account the relationship between these parameters. On the basis of geometric analysis schemes have been obtained according to, present in as of solving algorithm, which represent a sequence of point equations.

The results of the work can be used to reduce the number of necessary and expensive experiments, an analytical description of the process according to the physico-mechanical properties of the asphaltic concrete on the composition and quantity of its components and research the properties of asphaltic concrete needed for its optimal composition.

Постановка проблемы. Уровень развития и технического состояния дорожной сети Украины значительно влияет на экономическое и социальное развитие страны, поскольку надежные транспортные связи способствуют повышению эффективности использования производственных фондов, трудовых и материально-технических ресурсов.

Асфальтобетон – наиболее распространенный дорожно-строительный материал, широкое применение которого обеспечивает высокий уровень индустриализации строительства конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог и их эксплуатационную надежность. В то же время реальный срок службы асфальтобетонных покрытий составляет 8-10 лет вместо возможных 15-18.

Постоянное увеличение интенсивности дорожного движения, большую часть которого занимают большегрузные автомобили, автомобильные поезда и автобусы, приводит к существенному росту изнашиваемости дорожного полотна. Свойства асфальтобетона определяются, в первую очередь, качеством органического вяжущего и процессами взаимодействия на поверхности раздела фаз "органическое вяжущее - минеральный материал".

Для исследования свойств асфальтобетона и их оптимизации в зависимости от состава композиционного материала, используются математические модели, полученные, на основе регрессионного анализа. Но такие математические модели не всегда соответствуют нужным критериям адекватности модели, а иногда дают значительную погрешность по сравнению с исходными данными.

Основными недостатками математических моделей, полученных с помощью классического регрессионного анализа, являются корреляция между коэффициентами и трудности в оценке ошибки расчетного значения параметра оптимизации. Другим недостатком классического регрессионного анализа, в основе которого лежит метод наименьших квадратов, является недостаточная устойчивость к изменениям входной информации. Вообще, в идеальной регрессионной модели независимые переменные не коррелируют друг с другом. Однако сильная взаимосвязь переменных является довольно частым явлением. Это приводит к увеличению ошибок уравнения, уменьшению точности оценивания,

снижается эффективность использования регрессионной модели. Поэтому выбор независимых переменных, включаемых в регрессионную модель, должен быть очень тщательным.

Проведенный в работе [1] анализ, в основу которого легли результаты диссертационных работ [2-4], связанных с оптимизацией свойств асфальтобетона, для математического моделирования которых был использован регрессионный анализ, показал, что отклонения полученных значений при подстановке в уравнение регрессии от заданных значений колеблется в пределах 5-57% при норме 3-4%. Поэтому такие математические модели нельзя считать адекватными.

Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод о необходимости дальнейших исследований и разработок новых эффективных способов моделирования физико-механических свойств асфальтобетона в зависимости от состава композиционного материала.

Анализ публикаций по теме исследования. О существующих математических моделях физико-механических свойств асфальтобетонов было сказано выше. В области геометрического моделирования физико-механических свойств асфальтобетонов на основе математического аппарата «БН-исчисление» [5-7], уже проводились подобные исследования ранее, результаты которых были изложены в [8-9]. Используя особые свойства БН-исчисления в работах [1, 10] был разработан общий подход к геометрическому моделированию, в основу которого положен метод подвижного симплекса, рассмотренный в работах [11-12].

Формулирование целей статьи. Разработать геометрическую модель физико-механических свойств асфальтобетонов и её аналитическое описание.

Основная часть. Для эффективного решения задач геометрического моделирования в работе используется новый математический аппарат геометрического моделирования явлений и процессов – БН-исчисление (точечное исчисление Балюбы-Найдыша). Основной элемент БН-исчисления – это точка, которая характеризуется рядом параметров. Количество параметров, которые определяют точку в пространстве, зависит от размерности этого пространства. А любой геометрический объект в БН-исчислении является организованным множеством точек. Поэтому точечные уравнения, которые определяют геометрический объект в пространстве, справедливы для пространства любой размерности. Эта особенность БН-исчисления дает возможность представлять геометрические объекты в многомерном пространстве используя методы обобщения и аналогии. Исходя из этого, можно сделать вывод, что геометрическая модель, представленная в БН-исчислении, по сути, является организованным множеством точек, которые зависят от нескольких, связанных между собой, текущих параметров, воспроизводящих характер протекания процесса.

Воспользовавшись методом подвижного симплекса [11-12], получим геометрическую схему модели (рис. 1), которая представляет собой зависимость предела прочности при сжатии R_0 от четырех параметров: концентрации термополимера Элвалой C_mE1 , концентрации полимерсодержащего отхода производства эпоксидных смол на поверхности шлама нейтрализации C_m ПОЭС, пенетрации P_{25} и температуры. Таблица с исходными данными для построения предложенной модели была получена в [9] на основе реструктуризированных экспериментальных данных, представленных в работе [2]. Как видно на рис. 1, геометрическая схема модели состоит из нескольких элементов, которые взаимосвязаны между собой с помощью дуг парабол второго порядка, проходящих через три точки [13].

Всю геометрическую схему можно представить как расширенное “дерево модели”, состоящее из взаимно подобных элементов. Рассмотрим, например, левый нижний сегмент поверхности, который определяется девятью точками с верхним индексом 52. Этот сегмент поверхности соответствует геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии от двух параметров: концентрации активатора поверхности минерального порошка и концентрации отсева поливинилхлорида, при постоянной пенетрации равной 52 и температуре – 0°C. Аналитически это выражается с помощью последовательности точечных уравнений:

$$\begin{cases} P_{52} = A_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4A_2^{52}\bar{u}u + A_3^{52}u(2u-1), \\ Q_{52} = B_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4B_2^{52}\bar{u}u + B_3^{52}u(2u-1), \\ R_{52} = C_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4C_2^{52}\bar{u}u + C_3^{52}u(2u-1), \\ M_{52} = P_{52}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{52}\bar{v}v + R_{52}v(2v-1). \end{cases} \quad (1)$$

Если рассмотреть три подобных сегмента поверхности (нижний ряд на рисунке 1), для которых будет постоянной только температура (0°C), то получим сегмент гиперповерхности, который представляет собой зависимость предела прочности при сжатии от трёх параметров: концентрации активатора поверхности минерального порошка, концентрации отсева поливинилхлорида и пенетрации.

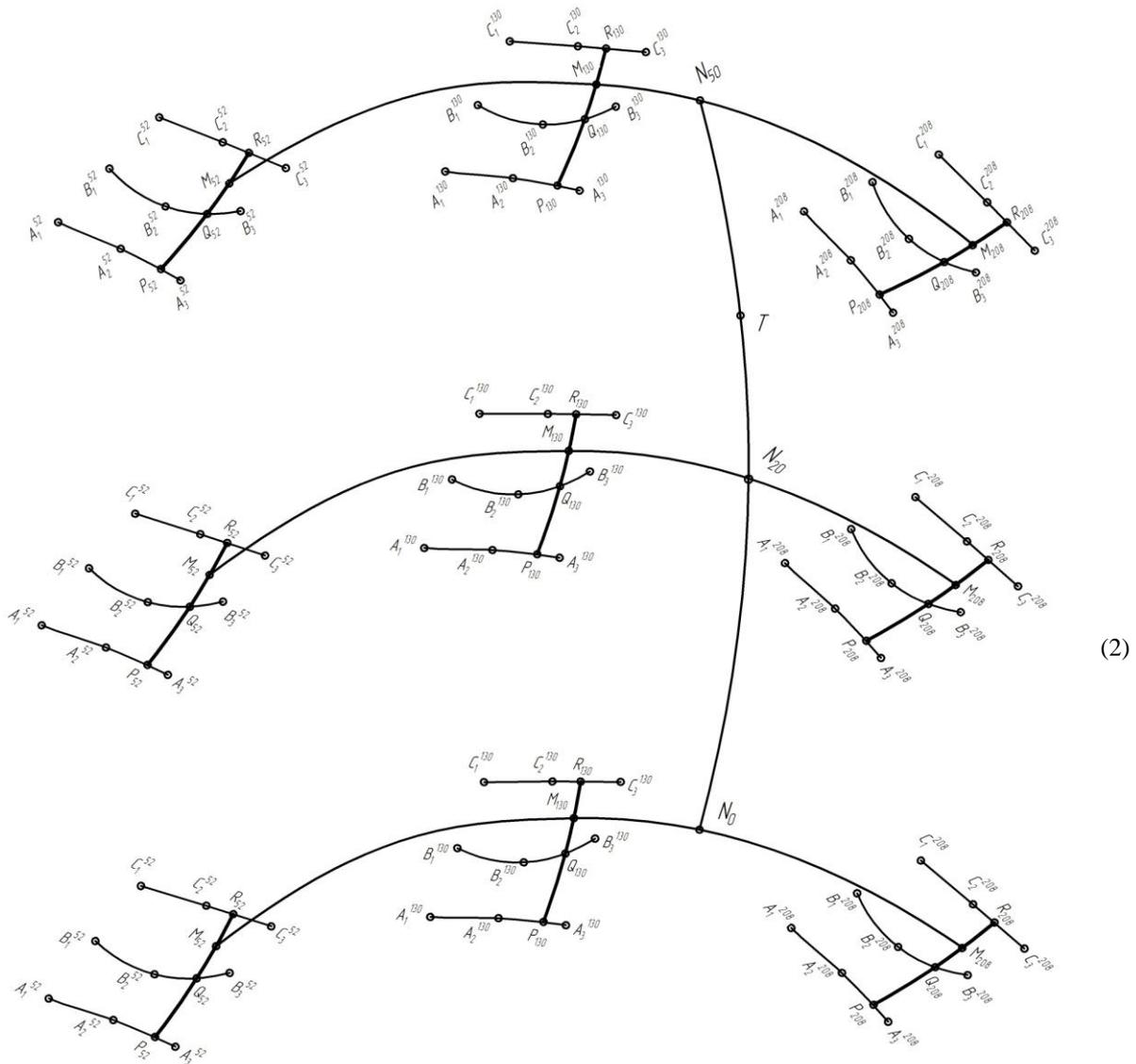


Рис. 1. Геометрическая схема модели физико-механических свойств

$$\begin{cases} M_{52} = P_{52}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{52}\bar{v}v + R_{52}v(2v-1), \\ M_{130} = P_{130}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{130}\bar{v}v + R_{130}v(2v-1), \\ M_{208} = P_{208}\bar{v}(1-2v) + 4Q_{208}\bar{v}v + R_{208}v(2v-1), \\ N_0 = M_{52}^0\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^0\bar{w}w + M_{208}^0w(2w-1). \end{cases}$$

Далее используя три подобных сегмента гиперповерхности в качестве опорных контуров, получим модель процесса зависимости предела прочности при сжатии от четырёх параметров: концентрации активатора поверхности минерального порошка, концентрации отсева поливинилхлорида, пенетрации и температуры.

$$\begin{cases} N_0 = M_{52}^0\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^0\bar{w}w + M_{208}^0w(2w-1), \\ N_{20} = M_{52}^{20}\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^{20}\bar{w}w + M_{208}^{20}w(2w-1), \\ N_{50} = M_{52}^{50}\bar{w}(1-2w) + 4M_{130}^{50}\bar{w}w + M_{208}^{50}w(2w-1), \\ T = N_0\bar{t}(1-2t) + 4N_{20}\bar{t}t + N_{50}t(2t-1). \end{cases} \quad (3)$$

Выводы и перспективы дальнейших исследований. В статье разработана геометрическая модель физико-механических свойств асфальтобетона в зависимости от состава и количества его компонентов, как пример возможностей БН-исчисления для геометрического моделирования многопараметрических явлений и процессов, что позволяет уменьшить количество необходимых и

дорогостоящих экспериментов для аналитического описания и исследования необходимых свойств асфальтобетонов для получения его оптимального состава.

Литература

1. Найдыш А.В. Теоретические основы геометрического моделирования физико-механических свойств асфальтобетонов методами БН-исчисления / А.В. Найдыш, Е.В. Конопацкий, А.И. Бумага / Науковий вісник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: Математика. Геометрія. Інформатика / гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – Т.1. – С.111-117.
2. Ходун В.Н. Дёгтебетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой: дис. кандидата технических наук: 05.23.05/ Ходун Владимир Николаевич. – Макеевка, 1999. – 146 с.
3. Рыбалко И.Ф. Минеральный порошок из шлама нейтрализации травильных растворов: дис. кандидата технических наук: 05.23.05/ Рыбалко Иван Федотович. – Макеевка, 1999. – 137 с.
4. Самойлова Е.Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ: дис. кандидата технических наук: 05.23.05/ Самойлова Елена Эдуардовна. – Макеевка, 2007. – 171 с.
5. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: диссертация на соискание научной степени доктора технических наук: 05.01.01 / Балюба Иван Григорьевич – Макеевка: МИСИ, 1995. – 227 с.
6. Точечное исчисление – математический аппарат параллельных вычислений для решения задач математического и компьютерного моделирования геометрических форм. [Балюба И.Г., Полищук В.И., Горягин Б.Ф., Малютин Т.П.] // Материалы Международной научной конференции «Моделирование – 2008», 14-16 мая 2008 г. Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины, г. Киев, Том 2. – С.286-290.
7. Найдыш В.М. Алгебра БН-исчисления / Найдыш В.М., Балюба И.Г., Верещага В.М. // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 90. – К.: КНУБА, 2012. – С.210-215.
8. Бумага А.І. Геометричне моделювання фізико-механічних властивостей дьогтебетону / Бумага А.І. // Будівництво та техногенна безпека. Збірник наукових праць. Вип. 48. Доповіді десятої міжнародної кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн» – Сімферополь: НАПКС, 2013. – С.24-28.
9. Бумага А.І. Геометрична модель залежності фізико-механічних властивостей асфальтобетону від чотирьох параметрів у БН-численні / Бумага А.І. // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б.Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – Вип. 3. – С.28-33.
10. Теоретические основы конструирования геометрических объектов многомерного пространства в БН-исчислении / [Найдыш А.В., Конопацкий Е.В., Бумага А.И., Чернышева О.А.] // Сборник докладов XVIII Юбилейной международной научно-практической конференции «Научные итоги: достижения, проекты, гипотезы». Выпуск 18. – Минеральные Воды, 2013. – С. 151-154.
11. Метод подвижного симплекса при конструировании 2-поверхностей многомерного пространства / [Балюба И.Г., Давыденко И.П., Конопацкий Е.В. и другие] // Моделювання та інформаційні технології / Збірник наукових праць. Спец. вип. Матеріали Міжнародної наукової конференції «Моделювання – 2010», 12 -14 травня 2010 р. Т.1 – К.: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України. – С.310-318.
12. Давыденко И.П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса: Дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. Давыденко Иван Петрович. – Макеевка, 2012. – 186 с.
13. Бумага А.І. Точкове рівняння дуги параболи другого порядку/ Бумага А.І.// Материалы IX Крымской международной научно-практической конференции «Геометрическое и компьютерное моделирование: энергозбереження, екологія, дизайн», 24 сентября - 28 сентября 2012г., г. Симферополь. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Прикладна геометрія та інженерна графіка (спецвипуск). Вип.90. – К.: КНУБА, 2012. – С. 49-52.