

УДК 625.855.3, 514.18

Е. В. КОНОПАЦКИЙ, А. И. БУМАГА, В. А. БОЧОРИШВИЛИ
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры**ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ
ПРИ СЖАТИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО
ДЕГТЕБЕТОНА ОТ ЧЕТЫРЁХ ПАРАМЕТРОВ**

В работе предложен способ геометрического моделирования физико-механических свойств мелкозернистого дегтебетона, зависящих от четырех параметров, реализованный в БН-исчислении. На основании предложенного способа получена аналитическая зависимость предела прочности при сжатии от вязкости дегтя, концентрации полимера в органическом вяжущем, концентрации активатора на поверхности минерального порошка и температуры.

геометрическая модель, БН-исчисление, модифицированный мелкозернистый дегтебетон, предел прочности при сжатии, вязкость дегтя, концентрация полимера в органическом вяжущем, концентрация активатора, температура

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Бетоны на органических вяжущих – наиболее распространенные дорожно-строительные материалы, широкое применение которых обеспечивает высокий уровень индустриализации строительства конструктивных слоев дорожной одежды автомобильных дорог и их эксплуатационную надежность. Следует отметить, что на современном этапе исследование физико-механических свойств асфальтобетонов, которые влияют на его прочность и долговечность, невозможно без использования широких возможностей и инструментов математического и компьютерного моделирования. Основным же недостатком современных математических моделей, которые используются для исследования физико-механических свойств асфальтобетонов, является невозможность одновременного учета всех параметров, которые влияют на процессы взаимодействия компонентов в асфальтобетоне. Как правило, на практике используют зависимость необходимых физико-механических свойств асфальтобетона от одного параметра с помощью графика функции и от двух параметров, которые представлены в виде номограмм с изолиниями, или в виде отсека поверхности. Если нужно проанализировать математическую зависимость более чем от двух параметров, то избыточные параметры фиксируются и строится математическая зависимость от двух параметров, затем выбираются другие два параметра и весь этот процесс повторяется. То есть все необходимые физико-механические свойства бетонов на органических вяжущих исследуются по очереди. Такой подход не позволяет оценить одновременное влияние всех параметров на физико-механические свойства бетонов на органических вяжущих.

В данной статье предлагается использование математического аппарата БН-исчисления для моделирования многопараметрических явлений и процессов как геометрических объектов многомерного пространства на примере моделирования зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от вязкости дегтя, концентрации полимера в органическом вяжущем, концентрации активатора поверхности минерального порошка и температуры.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Для исследования свойств модифицированного дегтебетона и их оптимизации в зависимости от состава и количества его компонентов, используются математические модели, полученные на основе

© Е. В. Конопацкий, А. И. Бумага, В. А. Бочоришвили, 2016

регрессионного анализа [1]. Но такие математические модели не всегда соответствуют нужным критериям адекватности, а иногда дают значительную погрешность по сравнению с исходными данными. Вообще достоинства и недостатки математических моделей на основе регрессионного анализа в литературе представлены в виде сравнения методов регрессионного анализа с другими статистическими методами и методами планирования эксперимента.

Нами было проанализировано три диссертационные работы [2, 3, 4], в которых для математического моделирования свойств модифицированного дегтебетона был использован регрессионный анализ. Фрагмент результатов анализа эффективности использования регрессионного анализа для математического описания зависимости физико-механических свойств модифицированного дегтебетона приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ эффективности использования регрессионного анализа по сравнению с исходными данными

№ п/п	\bar{Y}_1	Y_1	%	\bar{Y}_2	Y_2	%	\bar{Y}_3	Y_3	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	7,1	9,96	28,7	3	4,30	30,3	0,9	1,34	33,0
2	5,6	13,2	57,6	2,2	5,00	56,0	0,7	1,51	53,8
3	5,8	10,00	42,0	2,4	4,06	40,9	0,8	1,26	36,7
4	7,3	13,88	47,4	2,9	4,91	41,0	1	1,47	32,1
5	8,7	13,52	35,7	3,8	5,20	27,0	1,2	1,55	22,8
6	4,9	9,30	47,3	1,8	3,98	54,8	1,5	1,26	18,9

В таблице 1: \bar{Y}_i значения предела прочности при сжатии, полученные во время эксперимента, которые являются исходными данными для регрессионного анализа; Y_i значения предела прочности при сжатии, полученные на основе уравнений регрессии.

Проведенный нами анализ, фрагмент которого представлен в таблице 1 нескольких математических моделей многокомпонентных систем – дегтебетонов, созданных на основе регрессионного анализа, показал, что отклонение полученных значений при подстановке в уравнение регрессии от заданных значений достигает 50...60 %. Следует отметить, что регрессионный анализ может эффективно применяться при большом количестве экспериментальных данных. При небольшом же количестве экспериментальных данных использование регрессионного анализа не всегда оправдано и эффективно.

С другой стороны, математический аппарат БН-исчисление позволяет конструировать геометрические объекты с наперед заданными характеристиками и представлять их в пространстве любой размерности. Эта возможность БН-исчисления может быть эффективно использована для моделирования многопараметрических процессов и явлений, что позволяет избежать погрешностей регрессионного анализа, так как условие полного соответствия исходным данным было заложено изначально на стадии конструирования модели процесса.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получить аналитическое описание геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии мелкозернистого дегтебетона от вязкости дегтя, концентрации полимера в органическом вяжущем, концентрации активатора и температуры.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Геометрическая модель зависимости предела прочности при сжатии от четырех параметров: вязкости дегтя C_{30}^{10} , концентрации отсева поливинилхлорида в органическом вяжущем $C_m^{ПВХ}$, концентрации активатора на поверхности минерального порошка C_m^{KM-MI} и температуры образцов мелкозернистого дегтебетона строится на основе экспериментальных данных, приведенных в таблице 2, которые были получены в [4].

Как следует из таблицы 2, предел прочности при сжатии был определен при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_0 , при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_{20} и при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – R_{50} соответственно.

Таблица 2 – Экспериментальные данные зависимости предела прочности при сжатии дегтебетона от четырех параметров

№ п/п	$C_{30,c}^{10}$	$C_m^{ПВХ}, \%$	$C_m^{KM-MF}, \%$	$R_0, \text{МПа}$	$R_{20}, \text{МПа}$	$R_{50}, \text{МПа}$
1	2	3	4	5	6	7
1	52	0,5	0	4,9	1,8	0,5
2	52	0,5	0,5	5,6	2,0	0,6
3	52	0,5	1,0	5,8	2,4	0,8
4	52	1,25	0	5,5	2,9	1,0
5	52	1,25	0,5	5,3	2,7	0,95
6	52	1,25	1,0	6,0	3,0	1,2
7	52	2,0	0	5,6	2,2	0,7
8	52	2,0	0,5	6,0	3,0	0,8
9	52	2,0	1,0	7,3	2,9	1,0
10	130	0,5	0	7,3	3,0	1,1
11	130	0,5	0,5	7,5	3,1	1,0
12	130	0,5	1,0	7,6	3,2	1,0
13	130	1,25	0	7,3	2,9	0,9
14	130	1,25	0,5	10,0	4,0	1,3
15	130	1,25	1,0	8,6	3,8	1,2
16	130	2,0	0	9,8	4,1	1,0
17	130	2,0	0,5	11,0	5,1	1,4
18	130	2,0	1,0	10,2	4,9	1,3
19	208	0,5	0	7,1	3,0	0,9
20	208	0,5	0,5	8,0	3,5	1,2
21	208	0,5	1,0	9,2	3,8	1,3
22	208	1,25	0	8,7	4,3	1,3
23	208	1,25	0,5	9,7	4,5	1,5
24	208	1,25	1,0	10,2	4,9	1,6
25	208	2,0	0	9,2	3,8	1,2
26	208	2,0	0,5	10,1	4,2	1,5
27	208	2,0	1,0	12,0	5,4	1,6

Для лучшего понимания построения модели процесса определения предела прочности при сжатии дегтеполимербетона, представим геометрическую модель зависимости предела прочности при сжатии от четырех параметров в виде трех этапов. Во-первых, установим зависимость предела прочности при сжатии от концентрации активатора поверхности минерального порошка и концентрации отсева поливинилхлорида в каменноугольном вяжущем при температуре 0 °С (рис. 1).

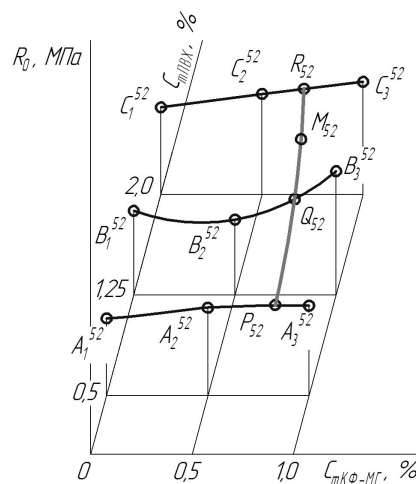


Рисунок 1 – Установление зависимости двух параметров.

Поскольку количество точек опорных и образующих дуг равно трем, используем для геометрического моделирования точечное уравнение дуги параболы, которая проходит через три точки [5]. Полученный отсек поверхности фактически является параболической поверхностью типа «Луна» [6] и выражается следующей последовательностью аналитических зависимостей в виде точечных уравнений:

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

Во-вторых, установим соответствие между предыдущими двумя параметрами, это: концентрация отсева поливинилхлорида в каменноугольном вяжущем ($C_m^{ПВХ}$) и концентрация активатора на поверхности минерального порошка ($C_m^{KM-MГ}$) – и третьим параметром – вязкостью дегтя. Для этого необходимо трижды построить поверхность типа «Луна» при вязкости дегтя $C_{30}^{10} = 52, 130$ и 208 с при температуре 0°C (рис. 2), трижды используя последовательность точечных уравнений, аналогичных последовательности (1).

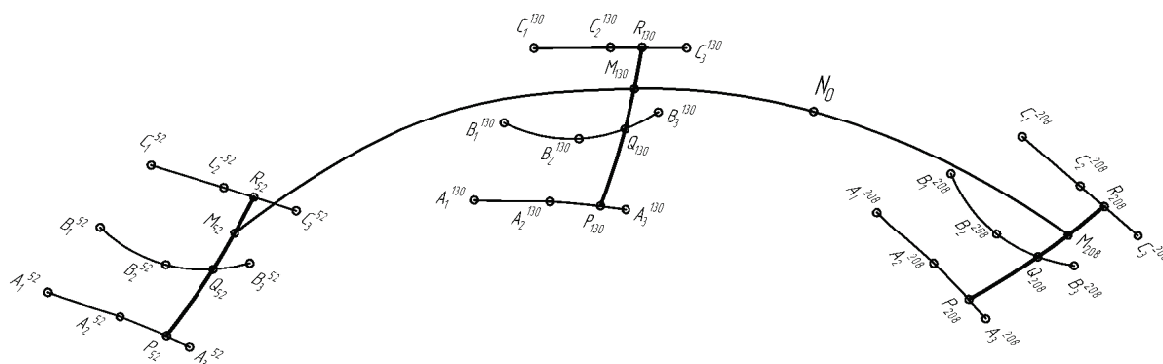


Рисунок 2 – Установление зависимости трех параметров.

Из геометрической схемы (рис. 2) видно, что опорными контурами отсека гиперповерхности есть образующие дуги трех отсеков поверхности типа «Луна». Поскольку количество опорных контуров равно трем, используем в качестве образующей отсека гиперповерхности дугу параболы 2-го порядка, которая будет проходить через 3 точки, образуя гиперповерхности типа «Гиперлуна»:

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

В-третьих, установим зависимость между четвертым параметром с предыдущими тремя. Для этого нужно трижды использовать полученную ранее гиперповерхность типа «Гиперлуна» при температуре $0, 20$ и 50°C . В данном случае опорными контурами будут три образующие гиперповерхности, которые аналитически выражаются последовательностями, аналогичными (2), а образующей – дуга параболы 2-го порядка, проходящей через три точки. Эта последовательность аналитических зависимостей представлена точечными уравнениями в (3).

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

Таким образом, имеем расчетный алгоритм (в виде последовательностей точечных уравнений) геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от концентрации активатора на поверхности минерального порошка, концентрации в каменноугольном вяжущем отсева поливинилхлорида, вязкости дегтя и температуры.

Как видно из последовательностей точечных уравнений (1), (2) и (3), все тройки точек увязаны с помощью однотипного уравнения дуги параболы 2-го порядка, что облегчает программирование такого расчетного алгоритма. Также авторами была создана программная реализация предложенной геометрической модели в программном пакете *Maple* для расчета предела прочности при сжатии в зависимости от четырех параметров. Все необходимые исходные данные для программирования приведены в таблице 2.

Следует отметить, что предложенный выше расчетный алгоритм состоит из точечных уравнений, которые, в сущности, являются символьной записью, и для перехода к параметрическим уравнениям необходимо выполнить покоординатный расчет точек. Но, при параллельном проецировании, если одна из трех координат трехмерного пространства равняется нулю, получим проекцию геометрического объекта на одну из плоскостей проекций, а если две с трех координат трехмерного пространства будут равняться нулю, то получим проекцию – на одну из осей проекций прямоугольной декартовой системы координат. Обобщая эту логическую последовательность, можно сделать вывод, что для определения любой из характеристик процесса, используя особые уравнения БН-исчисления, достаточно сделать расчеты лишь по необходимой характеристике, то есть по одной из координатных осей многомерной системы координат. Например, если нужно определить границу прочности при сжатии R модифицированного мелкозернистого дегтебетона, то нет необходимости делать покоординатный расчет для всех пяти координат пятимерного пространства, к которому принадлежит геометрическая модель процесса, достаточно сделать расчеты только по одной координате, которая характеризует границу прочности при сжатии R .

ВЫВОДЫ

В статье получено аналитическое описание, представленное последовательностями точечных уравнений, геометрической модели зависимости предела прочности при сжатии модифицированного мелкозернистого дегтебетона от вязкости дегтя, концентрации полимера в каменноугольном вяжущем, концентрации активатора на поверхности минерального порошка и температуры, которое позволяет уменьшить количество дорогостоящих экспериментов для аналитического описания и исследования необходимых свойств дегтебетона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Двойкін, Л. Й. Розв'язування будівельно-технологічних задач методами математичного планування експерименту [Текст] : Навч. посібник / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, В. В. Житковський. – Рівне : НУВГП, 2011. – 174 с.
2. Самойлова, Е. Э. Дорожные асфальтобетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой с использованием реакционно-способного термопласта Элвалой АМ [Текст] : дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Самойлова Елена Эдуардовна. – Макеевка, 2007. – 171 с.
3. Рыбалко, И. Ф. Минеральный порошок из шлама нейтрализации травильных растворов [Текст] : дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Рыбалко Иван Федотович. – Макеевка, 1999. – 137 с.
4. Ходун, В. Н. Дегтебетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой [Текст] : дис. ... кандидата технических наук : 05.23.05 / Ходун Владимир Николаевич. – Макеевка, 1999. – 146 с.
5. Бумага, А. І. Точкове рівняння дуги параболы другого порядку [Текст] / А. І. Бумага // Прикладна геометрія та інженерна графіка : Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 49–52.
6. Кучеренко, В. В. Формалізовані геометричні моделі нерегулярної поверхні для гіперкількісної дискретної скінченної множини точок [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.01.01 / Кучеренко Вадим Володимирович. – Мелітополь, 2013. – 234 с.

Получено 15.12.2015

Є. В. КОНОПАЦЬКИЙ, А. І. БУМАГА, В. О. БОЧОРШВІЛІ
ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ЗАЛЕЖНОСТІ ГРАНИЦІ МІЦНОСТІ ПРИ
СТИСКУ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО ДЬОГТЕБЕТОНУ
ВІД ЧОТИРЬОХ ПАРАМЕТРІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У роботі запропоновано спосіб геометричного моделювання фізико-механічних властивостей модифікованого дрібнозернистого дьогтебетону, що залежать від чотирьох параметрів, реалізований у БН-численні. На підставі запропонованого способу отримана аналітична залежність границі міцності при стиску від в'язкості дьогтю, концентрації полімеру в кам'яновугільному в'язучому, концентрації активатора на поверхні мінерального порошку і температури.

геометрична модель, БН-числення, модифікований дрібнозернистий дьогтебетон, границя міцності при стисненні, в'язкість дьогтю, концентрація полімеру в органічному в'язучому, концентрація активатора, температура

EVGENIY KONOPATSKIY, ALLA BUMAGA, VIKTORIYA BOCHORISHVILI
THE GEOMETRIC MODEL OF DEPENDENCE COMPRESSIVE STRENGTH OF
GRAINED TARMACADAM FROM FOUR PARAMETERS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

This paper proposes a method of geometric modeling physical and mechanical properties of fine-grained tarmacadam dependent on four parameters, implemented in BN-calculation. Based on the proposed method, an analytical dependence of the compressive strength of tar viscosity, the concentration of the polymer in the bitumen, activator concentration and temperature, has been carried out.

geometric model, BN-calculation, fine tarmacadam, compressive strength, the viscosity of tar, concentration of polymer in the bitumen, activator concentration, temperature

Конопацький Євген Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: визначення геометричних багатovidів за допомогою багатокуткових і багаторадіальних параметризацій методом узагальнених тригонометричних функцій у точковому численні Балюби-Найдиша; розробка інструментів багатови-мірної геометрії у точковому численні Балюби-Найдиша для геометричного моделювання багатопараметричних явищ і процесів.

Бумага Алла Іванівна – магістр технічних наук, асистент кафедри спеціалізованих інформаційних технологій і систем Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: визначення геометричних багатovidів за допомогою багатокуткових і багаторадіальних параметризацій методом узагальнених тригонометричних функцій у точковому численні Балюби-Найдиша; розробка інструментів багатови-мірної геометрії у точковому численні Балюби-Найдиша для геометричного моделювання багатопараметричних явищ і процесів.

Бочоршвілі Вікторія Олександрівна – студентка Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: визначення геометричних багатovidів за допомогою багатокуткових і багаторадіальних параметризацій методом узагальнених тригонометричних функцій у точковому численні Балюби-Найдиша; розробка інструментів багатови-мірної геометрії у точковому численні Балюби-Найдиша для геометричного моделювання багатопараметричних явищ і процесів.

Конопацкий Евгений Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: определение геометрических многообразий с помощью много-угловых и много радиальных параметризаций методом обобщенных тригонометрических функций в точечном исчислении Балюбы-Найдыша; разработка инструментов многомерной геометрии в точечном исчислении Балюбы-Найдыша для геометрического моделирования многопараметрических процессов и явлений.

Бумага Алла Ивановна – магистр технических наук, ассистент кафедры специализированных информационных технологий и систем Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: определение геометрических многообразий с помощью много-угловых и много радиальных параметризаций методом обобщенных тригонометрических функций в точечном исчислении Балюбы-Найдыша; разработка инструментов многомерной геометрии в точечном исчислении Балюбы-Найдыша для геометрического моделирования многопараметрических процессов и явлений.

Бочоришвили Виктория Александровна – студентка Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: определение геометрических многообразий с помощью много-угловых и многорадиальных параметризаций методом обобщенных тригонометрических функций в точечном исчислении Балубы-Найдыша; разработка инструментов многомерной геометрии в точечном исчислении Балубы-Найдыша для геометрического моделирования многопараметрических процессов и явлений.

Konopatskiy Evgeniy – Ph.D. (Eng.), Assistant Professor, Specialized Information Technology and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the definition of geometric manifolds using multiangle and multiradial parameterizations by generalized trigonometric functions in a dot calculation by Balyuba-Naydysh, development tools multidimensional geometry in a dot calculation by Balyuba-Naydysh for geometric modeling multiparametric processes and phenomena's.

Bumaga Alla – graduate student, the assistant, Specialized Information Technology and Systems Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the definition of geometric manifolds using multiangle and multiradial parameterizations by generalized trigonometric functions in a dot calculation by Balyuba-Naydysh, development tools multidimensional geometry in a dot calculation by Balyuba-Naydysh for geometric modeling multiparametric processes and phenomena's.

Bochorishvili Viktoriya – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: the definition of geometric manifolds using multiangle and multiradial parameterizations by generalized trigonometric functions in a dot calculation by Balyuba-Naydysh, development tools multidimensional geometry in a dot calculation by Balyuba-Naydysh for geometric modeling multiparametric processes and phenomena's.