

УДК 514.18

**Бумага А.І.***Мелітопольська школа прикладної геометрії**Донбаська національна академія будівництва і архітектури***РОЗРАХУНКОВИЙ АЛГОРИТМ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МЕЖИ МІЦНОСТІ ПРИ  
СТИСКАННІ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО ДЬОГТЕБЕТОНУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД 4-Х  
ПАРАМЕТРІВ**

*В роботі запропоновано розрахунковий алгоритм залежності границі міцності при стисненні дрібнозернистого дьогтебетону від чотирьох параметрів: концентрації активатора поверхні мінерального порошку, концентрації відсіву полівінілхлориду, в'язкості дьогтю і температури.*

*Ключові слова:* БН-числення, геометричне моделювання, асфальтобетон, дрібнозернистий дьогтебетон, границі міцності, розрахунковий алгоритм.

*Форм. 4. Лит. 8.*

**А.И. Бумага****РАСЧЕТНЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАВИСИМОСТИ ПРЕДЕЛА  
ПРОЧНОСТИ ПРИ СЖАТИИ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО ДЕГТЕБЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ 4-Х ПАРАМЕТРОВ**

*В работе предложен расчетный алгоритм зависимости предела прочности при сжатии мелкозернистого дегтебетона от четырех параметров: концентрации активатора поверхности минерального порошка, концентрации отсева поливинилхлорида, вязкости дегтя и температуры.*

*Ключевые слова:* БН-исчисление, геометрическое моделирование, асфальтобетон, мелкозернистый дегтебетон, предел прочности, расчетный алгоритм.

**A.I. Bumaga****CALCULATION ALGORITHM FOR DETERMINING THE COMPRESSIVE  
STRENGTH OF FINE-GRAINED TARMACADAM DEPENDING ON 4 PARAMETERS**

*The paper presents a calculation algorithm depends border compressive strength of fine-grained tarmacadam four parameters: the concentration of activator surface mineral powder, polyvinyl chloride concentrations dropout, viscosity and temperature tar.*

*Keywords:* BN-calculation, geometric modeling, asphalt, fine-grained tarmacadam, boundary strength, calculation algorithm.

**Постановка проблеми.** З давніх часів людство намагалось описувати процеси та явища живої природи за допомогою аналітичних залежностей. Таким чином було знайдено багато фізичних законів. З ростом технологічних процесів з'явилась необхідність аналітичного опису не тільки природних явищ і процесів, але й штучних. Згодом наукова спільнота почала досліджувати об'єкти пізнання на їх моделях з метою отримання пояснень цих явищ і процесів, опису властивостей, а також для передбачення поведінки явищ і процесів, які цікавлять дослідника. На даний момент поняття моделі є багатозначним і залежить від багатьох факторів. В даний час за технологією моделювання та області застосування виділяють такі основні види моделювання: інформаційне моделювання, комп'ютерне моделювання, математичне моделювання, математичне моделювання соціально-історичних процесів, математико-картографічне моделювання, молекулярне моделювання, цифрове моделювання, логічне моделювання, педагогічне моделювання, психологічне моделювання, статистичне моделювання, структурне моделювання, фізичне моделювання, економіко-математичне моделювання, імітаційне моделювання, еволюційне моделювання, графічне і геометричне моделювання, натурне моделювання, метамоделювання.

Не винятком є і дослідження властивостей асфальтобетону в залежності від складу композиційного матеріалу. Проаналізувавши декілька дисертаційних робіт [1, 2, 3], пов'язаних з оптимізацією складів асфальтобетонів з різними в'язкими речовинами і мінеральним порошком, нами встановлено, що у всіх цих роботах була розроблена матриця планування для подальшого дослідження властивостей асфальтобетону за допомогою математичних моделей на основі регресійного аналізу. Але проведений автором у роботі [4] аналіз встановив, що такі математичні моделі не завжди відповідають потрібним критеріям адекватності, а іноді дають значну похибку у порівнянні із вихідними даними.

**Аналіз останніх досліджень.** В роботі [4] автором було проаналізовано дисертаційні роботи [1, 2, 3] та показано, що регресійні моделі є недостатньо стійкими до зміни вихідної інформації і похибка може сягати майже 60% навіть при високих значеннях коефіцієнтів кореляції. В цій же роботі, за допомогою БН-числення [7-9], автором запропоновано спосіб геометричного

моделювання багатопараметричних явищ і процесів методом рухомого симплексу. Далі на основі запропонованого способу, в роботі [5] була розроблена геометрична модель залежності границі міцності при стисканні від чотирьох параметрів. Але у результаті отримано геометричну модель процесу у п'ятивимірному просторі, яку складно використовувати і досліджувати без допомоги ПЕОМ, а для використання ПЕОМ потрібно представити цю модель у вигляді розрахункового алгоритму.

**Формулювання цілей статті.** Розробити розрахунковий алгоритм, який дозволяє розрахувати межу міцності при стисканні дрібнозернистого дьогтебетону в залежності від концентрації активатора поверхні мінерального порошку, концентрації відсіву полівінілхлориду, в'язкості дьогтю і температури.

**Основна частина.** Розглянемо послідовність точкових рівнянь, які були отримані у [5] і складались із трьох етапів. На першому етапі було встановлено залежність границі міцності при стисненні з концентрацією активатора поверхні мінерального порошку і концентрацією відсіву полівінілхлориду при в'язкості дьогтю 52с і температурі 0°C. На другому етапі до попередніх двох параметрів (концентрація активатора поверхні мінерального порошку і концентрація відсіву полівінілхлориду) було додано третій – в'язкість дьогтю. На третьому етапі до попередніх трьох параметрів було додано четвертий – температуру дьогтебетону. На всіх цих етапах додаткові параметри були ув'язані між собою і узгоджені з загальною геометричною моделлю процесу за допомогою рівняння дуги параболи 2-го порядку, яка проходить через три наперед задані точки, що було розроблено автором у [6].

Слід зазначити, що запропонований вище розрахунковий алгоритм складається із точкових рівнянь, які, по суті, є символьним записом, а для переходу до системи параметричних рівнянь потрібно зробити покоординатний розрахунок точок. Але, як відомо, при паралельному проєкціюванні, якщо одна з трьох координат тривимірного простору дорівнює нулю, то отримуємо проєкцію геометричного об'єкту на одну із площин проєкцій, а якщо дві з трьох координат тривимірного простору дорівнюватимуть нулю, то отримуємо проєкцію – на одну з осей проєкцій прямокутної декартової системи координат. Узагальнюючи цю логічну послідовність, можна зробити висновок, що для визначення будь якої з характеристик процесу, використовуючи особливі рівняння БН-числення, достатньо зробити розрахунок лише по необхідній характеристиці, тобто по одній координаті багатовимірної системи координат. Наприклад, якщо потрібно межу міцності при стисканні  $R_0$  дрібнозернистого дьогтебетону, то немає сенсу робити покоординатний розрахунок для всіх п'яти координат п'ятивимірного простору, до якого належить геометрична модель процесу, достатньо зробити розрахунок тільки по одній координаті, яка характеризує межу міцності при стисканні  $R_0$ .

Враховуючи все вищесказане, отримуємо наступний розрахунковий алгоритм:

1. Визначимо 27 опорних дуг сегментів поверхонь. Для економії місця наведемо тільки перші 9 рівнянь опорних дуг, які відповідають межі міцності дьогтебетону при температурі 0°C. Інші 18 рівнянь будуть аналогічними тільки відповідатимуть межі міцності дьогтебетону при відповідно при 20°C і 50°C.

$$\left[ \begin{array}{l} P_{52}^0 = A_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4A_2^{52}\bar{u}u + A_3^{52}u(2u-1), \\ Q_{52}^0 = B_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4B_2^{52}\bar{u}u + B_3^{52}u(2u-1), \\ R_{52}^0 = C_1^{52}\bar{u}(1-2u) + 4C_2^{52}\bar{u}u + C_3^{52}u(2u-1), \\ P_{130}^0 = A_1^{130}\bar{u}(1-2u) + 4A_2^{130}\bar{u}u + A_3^{130}u(2u-1), \\ Q_{130}^0 = B_1^{130}\bar{u}(1-2u) + 4B_2^{130}\bar{u}u + B_3^{130}u(2u-1), \\ R_{130}^0 = C_1^{130}\bar{u}(1-2u) + 4C_2^{130}\bar{u}u + C_3^{130}u(2u-1), \\ P_{208}^0 = A_1^{208}\bar{u}(1-2u) + 4A_2^{208}\bar{u}u + A_3^{208}u(2u-1), \\ Q_{208}^0 = B_1^{208}\bar{u}(1-2u) + 4B_2^{208}\bar{u}u + B_3^{208}u(2u-1), \\ R_{208}^0 = C_1^{208}\bar{u}(1-2u) + 4C_2^{208}\bar{u}u + C_3^{208}u(2u-1), \end{array} \right. \quad (1)$$

2. Визначимо 9 опорних дуг сегментів гіперповерхні, які водночас є твірними відповідних сегментів поверхні:

$$\left[ \begin{array}{l} M_{52}^0 = P_{52}^0 \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{52}^0 \bar{v} v + R_{52}^0 v (2v - 1), \\ M_{130}^0 = P_{130}^0 \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{130}^0 \bar{v} v + R_{130}^0 v (2v - 1), \\ M_{208}^0 = P_{208}^0 \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{208}^0 \bar{v} v + R_{208}^0 v (2v - 1), \\ M_{52}^{20} = P_{52}^{20} \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{52}^{20} \bar{v} v + R_{52}^{20} v (2v - 1), \\ M_{130}^{20} = P_{130}^{20} \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{130}^{20} \bar{v} v + R_{130}^{20} v (2v - 1), \\ M_{208}^{20} = P_{208}^{20} \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{208}^{20} \bar{v} v + R_{208}^{20} v (2v - 1), \\ M_{52}^{50} = P_{52}^{50} \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{52}^{50} \bar{v} v + R_{52}^{50} v (2v - 1), \\ M_{130}^{50} = P_{130}^{50} \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{130}^{50} \bar{v} v + R_{130}^{50} v (2v - 1), \\ M_{208}^{50} = P_{208}^{50} \bar{v} (1 - 2v) + 4Q_{208}^{50} \bar{v} v + R_{208}^{50} v (2v - 1). \end{array} \right. \quad (2)$$

3. Визначимо 3 опорні дуги сегменту гіперповерхні чотиривимірного простору:

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

4. Визначимо твірну сегменту гіперповерхні, яка залежить від чотирьох параметрів  $u$ ,  $v$ ,  $w$  і  $t$ :

$$T = N_0 \bar{t} (1 - 2t) + 4N_{20} \bar{t} t + N_{50} t (2t - 1). \quad (4)$$

Таким чином, маємо розрахунковий алгоритм (у вигляді послідовностей точкових рівнянь) геометричної моделі залежності межі міцності при стисканні від концентрації активатора поверхні мінерального порошку, концентрації відсіву полівінілхлориду, в'язкості дьогтю і температури.

Слід відзначити, що у даному розрахунковому алгоритмі вихідними даними є значення  $A_i^j$ ,  $B_i^j$  і  $C_i^j$ , які відповідатимуть значенню межі міцності при стисненні в залежності від чотирьох параметрів і були використані із таблиці 1 [4]. Також до вихідних даних належать значення параметрів  $u$ ,  $v$ ,  $w$  і  $t$ , які визначаються в межах від 0 до 1 і відповідають певним фізико-механічним характеристикам, від зміни яких напряму залежить межа міцності при стисканні, а отже і якість, дьогтебетону.

Як видно із послідовностей точкових рівнянь (1), (2), (3) і (4), всі трійки точок ув'язані за допомогою однотипного рівняння дуги параболи 2-го порядку, що полегшує програмування такого досить громіздкого розрахункового алгоритму. Нами була створена програмна реалізація запропонованої геометричної моделі у програмному пакеті *Maple* для розрахунку межі міцності при стисканні в залежності від чотирьох змінних параметрів. За результатами цих досліджень був отриманий акт впровадження у виробництво ТОВ ДАК «Автомобільні дороги України».

У якості приклада використання запропонованої моделі розв'яжемо наступну задачу: розрахувати межу міцності при стисканні  $R_0$  дрібнозернистого дьогтебетону, якщо в'язкість дьогтю  $C_{30}^{10} = 150$  с, концентрація відсіву полівінілхлориду  $C_{mПВХ} = 1\%$ , концентрація активатора поверхні мінерального порошку  $C_{mKM-МГ} = 0,3\%$  і температура дьогтебетону  $T = 35$  °С.

*Розв'язок.* З геометричного сенсу параметрів  $u$ ,  $v$ ,  $w$  і  $t$ , що входять до складу відповідних однотипних точкових рівнянь (1), (2) і (3), який було розглянуто у [6], видно, що відповідні параметри змінюються лінійно в межах  $[0;1]$ . Розглянемо по черзі їх відповідність до фізико-механічних параметрів дьогтебетону. Так параметру  $u$  прямо пропорційно відповідає концентрація активатора поверхні мінерального порошку  $C_{mKM-МГ}$ , яка також змінюється в межах  $[0;1]$ , отже  $u = 0,3$ . Аналогічно параметру  $v$  відповідає концентрація відсіву

полівінілхлориду  $C_{mПВХ}$ , яка змінюється в межах  $[0,5; 2]$ . Тобто значенню концентрації відсіву полівінілхлориду  $C_{mПВХ} = 1\%$  відповідає значення параметра  $\nu \approx 0,33$ . Параметру  $w$  ставиться у відповідність в'язкість дьогтю  $C_{30}^{10}$ , яка змінюється в межах  $[52; 208]$ . Тоді в'язкості дьогтю  $C_{30}^{10} = 150$  с відповідає значення параметра  $w \approx 0,63$ . І нарешті, параметру  $t$  відповідає температура дьогтебетону  $T$ , яка змінюється в межах  $[0; 50]$ . А отже значенню температури  $T = 35$  °C відповідає значення параметру  $t = 0,7$ .

Підставивши отримані значення параметрів  $u$ ,  $\nu$ ,  $w$  і  $t$  у програму, яка була створена автором у програмному пакеті *Maple*, отримаємо наступне значення межі міцності при стисканні  $R_0 \approx 2,31$  МПа. Проаналізувавши вихідні дані, що наведені у таблиці 1 [4], можна зробити висновок про адекватність запропонованої геометричної моделі і, отриманого на її основі, розрахункового алгоритму.

Запропонований розрахунковий алгоритм геометричної моделі процесу залежності межі міцності при стисканні дрібнозернистого дьогтебетону від трьох параметрів є прикладом використання математичного апарату БН-числення [7-9] для моделювання багатопараметричних явищ і процесів. У даному випадку використовувались ті вихідні дані, які були отримані із практики проектування асфальтобетонів. Аналогічним чином кількість ув'язаних між собою параметрів може бути більшою, ніж чотири.

**Висновки.** Одержано, на базі БН-числення, розрахунковий алгоритм і наведено приклад його використання, який дозволяє розрахувати межі міцності при стисканні дрібнозернистого дьогтебетону в залежності від концентрації активатора поверхні мінерального порошку, концентрації відсіву полівінілхлориду, в'язкості дьогтю і температури, що дозволяє зменшити кількість необхідних і дорогих експериментів для аналітичного опису та дослідження властивостей асфальтобетонів в залежності від складу і кількості його компонентів.

1. Ходун В.Н. Дёгтебетоны с комплексно-модифицированной микроструктурой: дис. ... кандидата технических наук: 05.23.05 / Ходун Владимир Николаевич. – Макеевка, 1999. – 146 с.
2. Рыбалко И.Ф. Минеральный порошок из шлама нейтрализации травильных растворов: дис...кандидата технических наук: 05.23.05 / Рыбалко Иван Федотович. – Макеевка, 1999. – 137 с.
3. 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.
4. Найдыш А.В. Теоретические основы геометрического моделирования физико-механических свойств асфальтобетонных методами БН-исчисления / Найдыш А.В., Конопацкий Е.В., Бумага А.И. // Научный вестник Мелітопольського державного педагогічного університету імені Богдана Хмельницького. Серія: Математика. Геометрія. Інформатика / гол. ред. кол. А.В. Найдыш. – Мелітополь: МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. – Т.1. – С.111-117.
5. Бумага А.И. Геометрическое моделирование физико-механических свойств асфальтобетона / Бумага А.И., Найдыш А.В., Гавриленко Е.А // Вестник Херсонского национального технического университета. Вып.3(50). – Херсон: ХНТУ, 2014. – С.567-570.
6. Бумага А.И. Точковое рівняння дуги параболы другого порядка / Бумага А.И. // Міжвідомчий науково-технічний збірник. Прикладна геометрія та інженерна графіка (спецвипуск). Вип.90. – К.: КНУБА, 2012. – С. 49-52.
7. Найдыш В.М. Алгебра БН-исчисления / В.М. Найдыш, И. Г. Балюба, В. М. Верещага // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 90. – 2012. – С.210-215.
8. Балюба И.Г. Точечное исчисление геометрических форм и его место в ряду других существующих исчислений / И. Г. Балюба, Б. Ф. Горягин, Е.В. Конопацкий и другие // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Научный журнал №6. – 2011. – С. 24-29.
9. Балюба И.Г. Основы математического аппарата точкового числения / Балюба И.Г., Поліщук В.І., Малютіна Т.П. Праці // Таврійська державна агротехнічна академія. Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 29. – Мелітополь: ТДАТА, 2005.– С.22-30.