

УДК 514.18

Е.В. Конопацкий, О.С. Воронова

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
Макеевка, Донецкая Народная Республика

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК В БЕТОННОЙ КОЛОННЕ

Представлен метод геометрического моделирования процессов и явлений в исчислении Балубы–Найдыша на примере процесса распределения прочностных характеристик по всему объему бетонной колонны. Исходными данными для моделирования явились значения трех прочностных характеристик, измеренных в различных точках колонны в количестве 125 шт. В результате моделирования была получена гиперповерхность отклика, проходящая через 125 наперед заданных точек, определенная как трехпараметрическое множество точек и принадлежащая четырехмерному пространству. Предложенная модель позволяет определить все необходимые характеристики и свойства бетона не только в ядре какой-либо зоны, но и в других частях колонны, а также исследовать их на экстремумы с помощью методов математического анализа.

Ключевые слова: БН-исчисление, геометрическая модель процесса, ядро зоны, прочностные характеристики, бетонная колонна, поверхность отклика.

E.V. Konopatskii, O.S. Voronova

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
Makeevka, Donetsk People's Republic

GEOMETRICAL MODEL THE PROCESS OF DISTRIBUTION STRENGTH CHARACTERISTICS IN A CONCRETE COLUMN

The paper presents the method for geometric modeling processes and phenomena in BN-calculation, using for example the process of distribution on strength characteristics over the entire volume of the concrete column. The initial data for modeling were three strength characteristics measured at various points of the column in an amount of 125 pieces. As a result of the simulation, the hypersurface of the response was obtained, passing through 125 predetermined points, defined as three-parameter set of points and belonging to four-dimensional space. The proposed model makes it possible to determine all the necessary characteristics and properties of concrete in the core of any zone and in other parts of the column, and also to investigate them for extremes by mathematical analysis methods.

Keywords: BN-calculation, geometric model the process, core of the zone, strength characteristics, concrete column, response surface.

Введение

Важными этапами проведения исследований являются обработка и анализ данных, полученных в результате эксперимента. В современном мире эти весьма трудоемкие работы невозможны без использования современной вычислительной техники. Однако для создания компьютерных моделей необходимо вначале иметь их аналитическое описание. Математический аппарат точечного исчисления Балюбы–Найдыша (БН-исчисления) [1–3] позволяет каждой графической операции поставить в соответствие аналитическую операцию. Таким образом, любой алгоритм построения геометрического объекта можно представить в аналитическом виде с последующей его реализацией на ЭВМ.

Для геометрического моделирования сложных многофакторных процессов (или явлений) особое значение в БН-исчислении имеет возможность обобщения на многомерное пространство, поскольку все точечные уравнения являются инвариантными относительно размерности пространства. Так, в двумерном пространстве можно смоделировать зависимость от одного фактора, геометрическим отображением которой служит линия как однопараметрическое множество точек. В трехмерном пространстве в качестве геометрической модели можно использовать отсек поверхности как двухпараметрическое множество точек, описывая тем самым двухфакторный процесс. Далее с помощью методов обобщения и аналогии можно моделировать в БН-исчислении геометрические объекты в зависимости от любого необходимого количества факторов, влияющих на состояние исследуемого объекта, процесса или явления. В качестве примера рассмотрим геометрическую модель процесса распределения прочностных характеристик в бетонной колонне.

1. Постановка задачи и исходные данные для моделирования

Во время строительства жилого дома были проведены исследования на монолитных бетонных фрагментах колонн, которые изготавливались непосредственно на строительной площадке одновременно с другими вертикальными конструкциями. Изготовленные опытные фрагменты колонн выдерживались около 1–2 месяцев, транспортиро-

вались в лабораторию и там проходили испытания и ультразвуковые исследования. Методика такого исследования включает в себя распиливание фрагментов колонн на опытные образцы – призмы (с размерами граней, пропорциональными размерам стандартных образцов), с проведением дальнейших испытаний образцов и фрагментов на прочность и деформационные свойства полученного бетона. Колонна сечением 400×400 мм была разделена по высоте на пять одинаковых ярусов (рис. 1). В свою очередь, каждый ярус был дополнительно разбит на 25 зон (5×5 мм) (рис. 2). Таким образом, было испытано 125 бетонных призм, причем все необходимые измерения относились к ядру зоны (центру тяжести призмы).

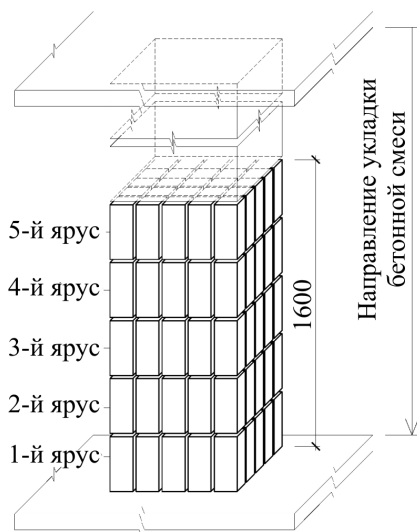


Рис. 1. Схема расположения вертикальных ярусов выпиленных образцов

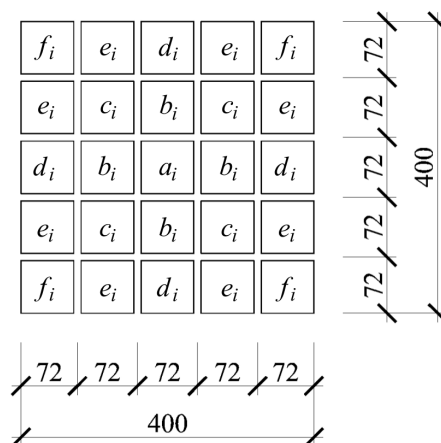


Рис. 2. Схема расположения, адресации и размеров выпиленных образцов на плане

В результате проведения натурных экспериментальных исследований колонны [4–6] были получены экспериментальные данные распределения прочностных характеристик тяжелого бетона по объему вертикального монолитного элемента (таблица). Далее на основе имеющихся данных было необходимо найти значения прочностных характеристик в любой точке бетонной колонны.

Данные о взаимозависимости характеристик разных зон
бетонной колонны

Расположение зоны бетона по объему элемента		Показатели соотношения характеристик бетона разных зон в процентах к показателям характеристик стандартных образцов		
По высоте	Поперечное сечение	$R_b^3 / R_b, \%$	$E_b^3 / E_b, \%$	$\varepsilon_{b,y}^3 / \varepsilon_{b,y}, \%$
5.1.44 м (1,28–1,60 м)	a_5	145,7	126,7	103,7
	b_5	141,7	118,4	99,6
	c_5	141,7	116,1	98,8
	d_5	111,3	102,3	90,7
	e_5	110,1	99,5	89,6
	f_5	107,2	92,1	87,0
4.1.12 м (0,96–1,28 м)	a_4	151,8	124,4	103,7
	b_4	145,7	117,9	100,0
	c_4	140,4	117,5	99,2
	d_4	124,7	101,3	90,7
	e_4	117,8	98,1	89,6
	f_4	97,1	89,8	87,0
3.0.8 м (0,64–0,96 м)	a_3	153,8	124,8	102,9
	b_3	147,7	121,2	99,2
	c_3	145,7	121,2	97,0
	d_3	114,1	101,3	88,8
	e_3	109,7	99,0	87,0
	f_3	97,1	93,0	82,5
2.0.48 м (0,32–0,64 м)	a_2	165,9	129,4	98,1
	b_2	162,7	125,3	93,7
	c_2	162,7	124,4	93,7
	d_2	137,6	103,6	85,1
	e_2	136,0	103,2	84,8
	f_2	131,5	101,8	84,4
1.0.16 м (0–0,32 м)	a_1	148,9	123,5	83,3
	b_1	148,9	123,5	83,3
	c_1	148,9	123,5	83,3
	d_1	148,9	123,5	83,3
	e_1	148,9	123,5	83,3
	f_1	148,9	123,5	83,3

2. Модель процесса распределения прочностных характеристик в бетонной колонне

В данном случае процесс распределения прочностных характеристик в колонне зависит от трех факторов положения. Значит, результатом моделирования будет гиперповерхность, принадлежащая четырехмерному пространству, представленная как трехпараметрическое мно-

жество точек. Сформируем отсек гиперповерхности с помощью метода подвижного симплекса [7]. Для этого сначала определим пять поверхностей отклика, соответствующих каждому из пяти ярусов. Учитывая симметричное расположение зон в каждом ярусе (рис. 2), определим направляющие линии опорного контура первого яруса с помощью дуг кривых, проходящих через пять наперед заданных точек:

$$\begin{aligned} M_{11} &= M_{15} = af_1 + be_1 + cd_1 + de_1 + ef_1, \\ M_{12} &= M_{14} = ae_1 + bc_1 + cb_1 + dc_1 + ee_1, \\ M_{13} &= ad_1 + bb_1 + ca_1 + db_1 + ed_1, \end{aligned}$$

где $a_i, b_i, c_i, d_i, f_i, e_i$ – значения прочностных характеристик (см. таблицу).

$$\begin{aligned} a &= \bar{u}^4 - \frac{13}{3}\bar{u}^3u + \frac{13}{3}\bar{u}^2u^2 - \bar{u}u^3; \quad b = 16\bar{u}^3u - \frac{64}{3}\bar{u}^2u^2 + \frac{16}{3}\bar{u}u^3; \\ c &= -12\bar{u}^3u + 40\bar{u}^2u^2 - 12\bar{u}u^3; \quad d = \frac{16}{3}\bar{u}^3u - \frac{64}{3}\bar{u}^2u^2 + 16\bar{u}u^3; \\ e &= -\bar{u}^3u + \frac{13}{3}\bar{u}^2u^2 - \frac{13}{3}\bar{u}u^3 + u^4, \end{aligned}$$

где \bar{u} – дополнение параметра до 1, $\bar{u} = 1 - u$; $0 \leq u \leq 1$.

Тогда точечное уравнение образующей поверхности отклика для первого яруса будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{11} \left(\bar{v}^4 - \frac{13}{3}\bar{v}^3v + \frac{13}{3}\bar{v}^2v^2 - \bar{v}v^3 \right) + M_{12} \left(16\bar{v}^3v - \frac{64}{3}\bar{v}^2v^2 + \frac{16}{3}\bar{v}v^3 \right) + \\ &+ M_{13} \left(-12\bar{v}^3v + 40\bar{v}^2v^2 - 12\bar{v}v^3 \right) + M_{14} \left(\frac{16}{3}\bar{v}^3v - \frac{64}{3}\bar{v}^2v^2 + 16\bar{v}v^3 \right) + \\ &+ M_{15} \left(-\bar{v}^3v + \frac{13}{3}\bar{v}^2v^2 - \frac{13}{3}\bar{v}v^3 + v^4 \right), \end{aligned}$$

где $\bar{v} = 1 - v$, $0 \leq v \leq 1$.

Остальные точечные уравнения четырех поверхностей отклика, соответствующие 2–5-му ярусам, определяются аналогичным образом. В уравнениях изменяются только индексы значений прочностных характеристик.

Далее зададим образующую гиперповерхности отклика, для которой опорными являются текущие точки образующих поверхностей отклика:

$$M = M_1 \left(\bar{w}^4 - \frac{13}{3} \bar{w}^3 w + \frac{13}{3} \bar{w}^2 w^2 - \bar{w} w^3 \right) + M_2 \left(16 \bar{w}^3 w - \frac{64}{3} \bar{w}^2 w^2 + \frac{16}{3} \bar{w} w^3 \right) + \\ + M_3 \left(-12 \bar{w}^3 w + 40 \bar{w}^2 w^2 - 12 \bar{w} w^3 \right) + M_4 \left(\frac{16}{3} \bar{w}^3 w - \frac{64}{3} \bar{w}^2 w^2 + 16 \bar{w} w^3 \right) + \\ + M_5 \left(-\bar{w}^3 w + \frac{13}{3} \bar{w}^2 w^2 - \frac{13}{3} \bar{w} w^3 + w^4 \right),$$

где $\bar{w} = 1 - w$, $0 \leq w \leq 1$.

Таким образом, получим уравнение отсека гиперповерхности, проходящей через 125 наперед заданных точек, который определяется тремя параметрами: u , v и w . Следует отметить, что в данном случае для моделирования использовались однотипные уравнения дуги кривой четвертого порядка, проходящей через пять наперед заданных точек. Точечное уравнение для первого яруса можно было бы упростить, поскольку все значения прочностных характеристик являются одинаковыми (т.е. геометрически имеем не поверхность отклика, а плоскость). В нашем случае мы не стали этого делать, чтобы не потерять универсальность предложенного способа моделирования по отношению ко всем ярусам колонны.

Заключение

В данной работе предложены геометрическая модель и аналитическое описание процесса распределения прочностных характеристик в бетонной колонне, что позволяет не только определить все необходимые характеристики по всему объему колонны, но и исследовать их с помощью методов математического анализа.

Список литературы

1. Балюба И.Г. Конструктивная геометрия многообразий в точечном исчислении: дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01. – Макеевка: Изд-во МИСИ, 1995. – 227 с.
2. Найдыш В.М., Балюба И.Г., Верещага В.М. Алгебра БН-исчисления // Прикладна геометрія та інженерна графіка: міжвідом. наук.-техн. зб. – Киев: Изд-во КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 210–215.

3. Балюба И.Г., Найдыш В.М. Точечное исчисление: учеб. пособие / под ред. В.М. Верещаги. – Мелитополь: Изд-во МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. – 236 с.

4. Булавицкий М.С. Исследование неоднородности бетона вертикальных элементов монолитных зданий ультразвуковым импульсным методом // Вестник ДонНАСА. – 2006. – № 4 (60). – С. 169–171.

5. Лещинский А.М. Систематическая неоднородность прочности тяжелого бетона в сборных железобетонных изделиях, формируемых на виброплощадках: дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1981. – 202 с.

6. Конопацький Є.В. Геометричне моделювання алгебраїчних кривих та їх використання при конструюванні поверхонь у точковому численні Балюби–Найдиша: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. – Мелітополь, 2012. – 164 с.

7. Давыденко И.П. Конструирование поверхностей пространственных форм методом подвижного симплекса: дис. ... канд. техн. наук: 05.01.01. – Макеевка, 2012. – 186 с.

References

1. Baliuba I.G. Konstruktivnaia geometriia mnogoobrazii v tochechnom ischislenii [Constructive geometry of manifolds in a point calculation]. Doctor's Degree Dissertation. Makeevka, 1995, 227 p.

2. Naidysh V.M., Baliuba I.G., Vereshchaga V.M. Algebra BN-ischisleniia [Algebra of BN-calculations] Prikladna geometriia ta inzhenerna grafika. Mizhvidomchii naukovo-tekhnichnii zbirnik. Kiev, KNUBA, 2012, iss. 90, pp. 210-215.

3. Baliuba I.G., Naidysh V.M. Tochechnoe ischislenie [Dot calculation]. – Melitopol, Melitopol's'kii derzhavnii pedagogichnii universitet imeni Bogdana Khmel'nits'kogo. 2015, 236 p.

4. Bulavitskii M.S. *Issledovanie neodnorodnosti betona vertikal'nykh elementov monolitnykh zdaniy ul'trazvukovym impul'snym metodom* [A study of heterogeneity of concrete vertical elements of monolithic buildings ultrasonic pulse method] – *Vestnik DonNASA*. 2006, vol. 60, iss. 4, pp. 169-171.

5. Leshchinskii A.M. *Sistematicheskaia neodnorodnost' prochnosti ti-azhelogo betona v sbornykh zhelezobetonnykh izdeliakh, formuemyykh na vibroploshchadkakh* [Systematic heterogeneity of the strength of heavy concrete in precast concrete elements, to be formed on the vibratory plates]. Ph. D. thesis. Kiev, 1981, 202 p.

6. Konopats'kii, Є.V. Geometrichne modeliuvannia algebraïchnikh krivikh ta ïkh vikoristannia pri konstruiuvanni poverkhon' u tochkovomu chislenni Baliubi-Naidisha [Geometric modeling algebraic curves and their use in the construction of surfaces in a point calculation Baluba-Nagisa]. Ph. D. thesis. Melitopol, 2012, 164 p.

7. Davydenko, I.P. Konstruirovaniye poverkhnostei prostranstvennykh form metodom podvizhnogo simpleksa [The construction of surfaces of spatial forms by the method of rolling simplex]. Ph. D. thesis. Makeevka, 2012, 186 p.

Получено 26.02.2017

Об авторах

Конопацкий Евгений Викторович (Makeevka, Донецкая Народная Республика) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Специализированные информационные технологии и системы», Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (286123, г. Makeevka, ул. Державина, 2, e-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru).

Воронова Ольга Сергеевна (Makeevka, Донецкая Народная Республика) – ассистент кафедры «Специализированные информационные технологии и системы», Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (286123, г. Makeevka, ул. Державина, 2, e-mail: kornilova.oly@mail.ru).

About the authors

Evgenii V. Konopatskii (Makeevka, Donetsk People's Republic) – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Specialized Information Technologies and Systems, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (2, Derzhavin st., Makeevka, 286123, Donetsk People's Republic, e-mail: e.v.konopatskiy@mail.ru).

Ol'ga S. Voronova (Makeevka, Donetsk People's Republic) – Assistant, Department of Specialized Information Technologies and Systems, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (2, Derzhavin st., Makeevka, 286123, Donetsk People's Republic, e-mail: kornilova.oly@mail.ru).