

ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНІСНИХ ТА ДЕФОРМАТИВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВАЖКОГО БЕТОНУ ПО ОБ'ЄМУ МОНОЛІТНИХ КОЛОН ПРИ ЇХ ОБСТЕЖЕННІ

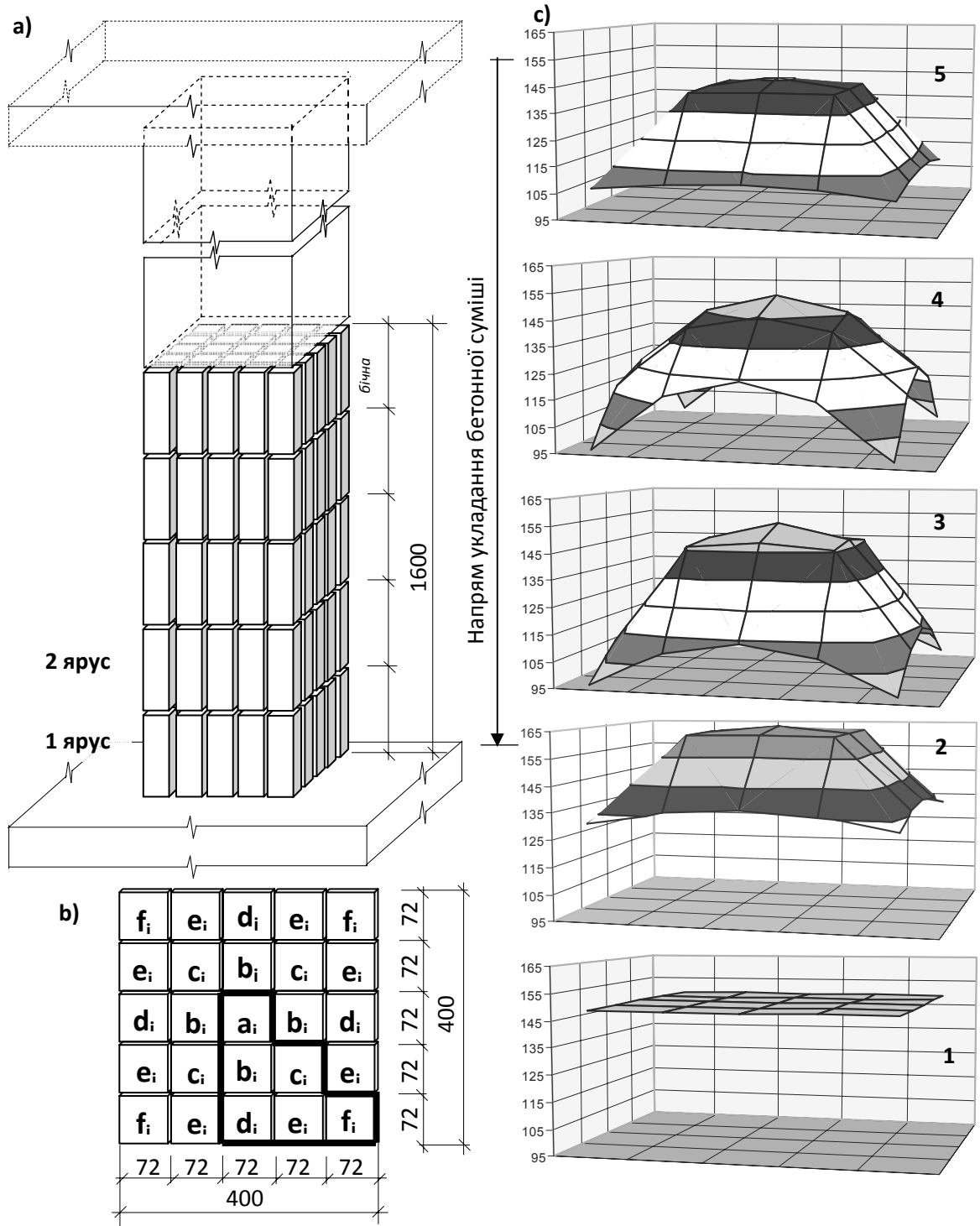
Югов А.М.
Булавицький М.С.
Конопацький Є.В.

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Макіївка, Україна

Дуже часто на практиці потрібно визначити чи спрогнозувати характеристики бетону, маючи при цьому мінімум інформації про об'єкт дослідження [1]. Наприклад, потрібно спрогнозувати як будуть себе вести характеристики бетону в будь яких частинах колони, знаючи лише одну характеристику в наведеній зоні колони. Для цього можна використати пропорційну залежність між зонами, в межах яких розглядаються характеристики бетону. Пропорційні залежності показників характеристик різних зон по об'єму вертикальних монолітних елементів були отримані при експериментально-теоретичному дослідженні неоднорідності властивостей бетону по об'єму таких елементів. Як з'ясувалось [2,3,4,5,6,7,8,9,10], така неоднорідність має чітко виражений систематичний характер, тобто мова йде про *систематичну неоднорідність* властивостей бетону таких елементів на макрорівні. Подібна систематична неоднорідність була виявлена у 80-х роках для конструкцій зі збірного залізобетону, що формуються на вібромайданчиках [8,9]. Але в цих дослідженнях не була врахована зміна розподілу характеристик у часі та їх зміна у напрямку перпендикулярному напрямку укладання бетонної суміші. Крім того, застосовувались переважно неруйнівні методи, що призводило до збільшення похибки. У роботах [2,3,4,10,11] описані дані та характер розподілу властивостей бетону по об'єму вертикального монолітного елемента у віці 2,3 роки. Дані справедливі для подібних конструкцій, котрі виготовляються за допомогою глибинного вібратора з укладкою бетонної суміші з бадді одразу на всю висоту колони (3,3 м) (рис. 1), та що витримуються та експлуатуються у повітряних умовах.



Рис. 1. Виготовлення дослідних фрагментів колон



*a) у напрямку укладання бетонної суміші; b) у горизонтальному напрямі;
c) поверхні розподілу експериментально визначених показників характеристик міцності
бетону по об'єму фрагмента колони (у процентному співвідношенні до усередненої
міцності стандартних зразків – табл. 1)*

Рис. 2. Схема розташування, адресації та розмірів випиляних зразків

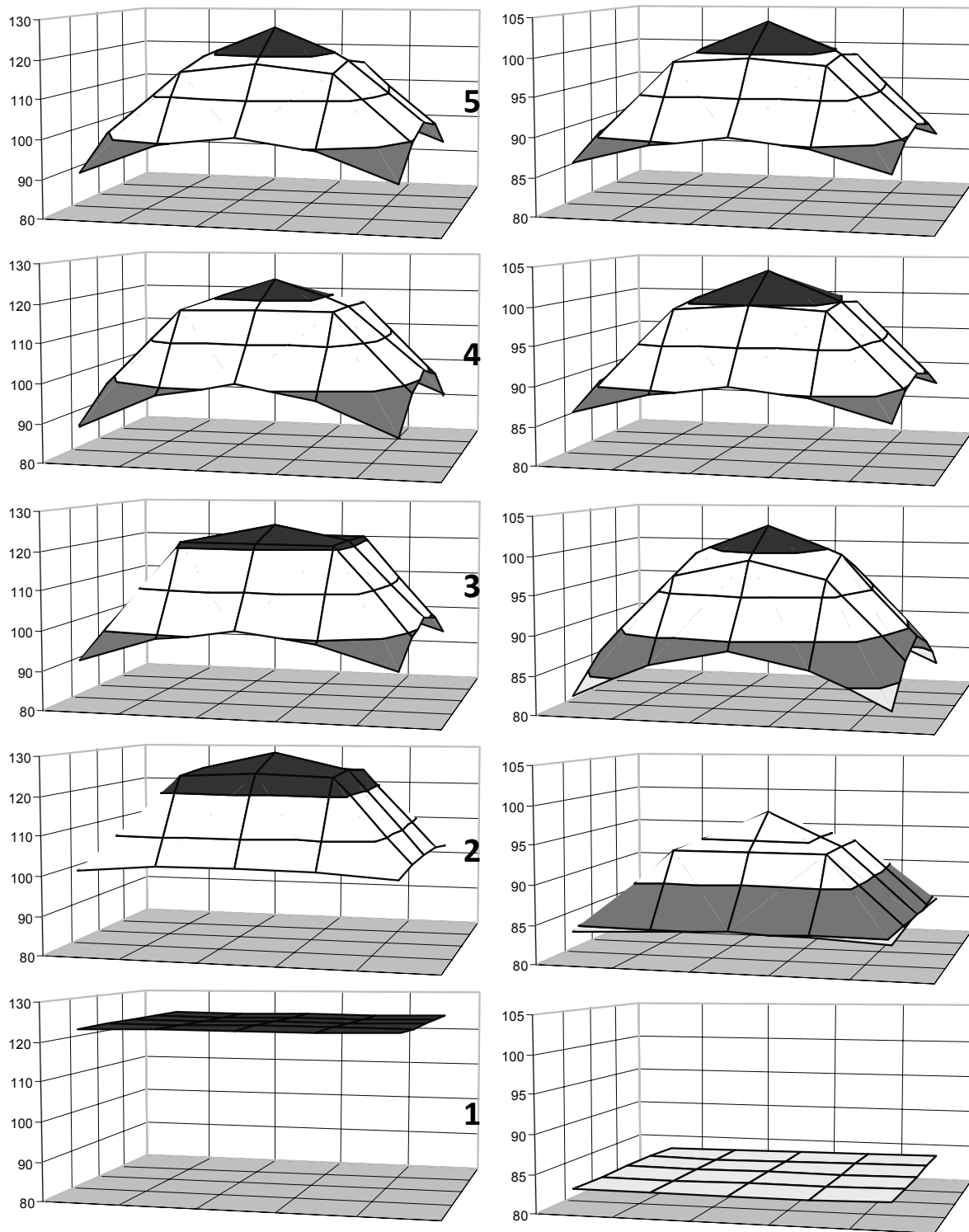




Рис. 3. Поверхні розподілу фактичних характеристик модуля пружності (ліворуч) та граничної стисливості (праворуч) випиляних дослідних зразків, у процентному співвідношенні до відповідних усереднених показників характеристик стандартних зразків (табл. 1) по об'єму фрагмента колони

Експериментальні дані розподілу характеристик важкого бетону по об'єму вертикального монолітного елемента (табл. 1) були отримані в результаті проведення натурних експериментальних досліджень колон перетином 0,4×0,4 м (рис. 1), що виготовляються з пошаровим укладанням та ущільненням бетонної суміші на всю висоту колони (3,0-3,3 м) із застосуванням бадді та глибинного вібратора, та витримуються (експлуатуються) у повітряних умовах. Наведені залежності між характеристиками різних зон колони відповідають тільки нижній частині на висоту 1,6 м та віку колони 2-3 роки. Дослідження проводились на бетонних фрагментах цих елементів, що виготовлялись безпосередньо на будівельному майданчику одночасно з іншими вертикальними конструкціями. Висота укрупнених опалубочних блоків колон на будівельному майданчику та дослідних фрагментів колон співпадала для забезпечення ідентичності висоти падіння бетонної суміші при укладці. Методика виготовлення, 1-2-х місячного витримування на верхніх захватках, спуску, транспортування до лабораторії, витримування в повітряних умовах, ультразвукових досліджень, розпилювання фрагментів на дослідні зразки– призми (з розмірами граней пропорційними розмірами стандартних зразків) та випробування усіх зразків та фрагментів наведені фрагментарно у роботах [2,3,4,10,11].

Таблиця 1 – Співвідношення між характеристиками стандартних зразків та фрагментів колон

Маркування	Розміри бетонних фрагментів вертикальних елементів	Показники співвідношення характеристик бетону фрагментів колон к показникам характеристик стандартних зразків			Усереднені показники характеристик стандартних зразків (0,15×0,15×0,6 м)		
		R	E _b	ε _{ub}	R	E _b	ε _{ub}
ФК-1	0,4×0,4×1,6 м	111,3%	-	70,4 %	100 %	100 %	100 %
ФК-2	0,4×0,4×1,6 м "розпиляний" на зразки 72×72×320 мм	Показники співвідношень характеристик бетону випиляних зразків наведені у таблиці 2					

Таким чином, на цьому етапі дослідження маємо дві задачі:

1. Якщо потрібно розрахувати характеристики бетону в ядрі будь якої зони, то можна використати данні таблиці 1 та скористатися формулою:

$$R_{b2} = \frac{R_2}{R_1} R_{b1} \quad (1)$$

де R_{b2} – характеристика бетону, що потрібно знайти;

R_{b1} – задана характеристика бетону;

R_1 – характеристики бетону у відповідній зоні, визначена за допомогою таблиці 1.

Таблиця 2 – Дані взаємної залежності характеристик різних зон (див. сумісно рис. 1, 2)

Розташування зони бетону (уписана у розміри призми) по об'єму елемента		Показники співвідношення характеристик бетону різних зон в процентах від показників характеристик стандартних зразків (табл. 1)		
По висоті (рис. 2а)	Поперечний перетин (рис. 2б)	$R_b^3 / R_b, \%$	$E_b^3 / E_b, \%$	$\varepsilon_{b,y}^3 / \varepsilon_{b,y}, \%$
5. 1.44 m (1,28-1,60м)	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 m (0,96-1,28м)	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 m (0,64-0,96м)	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 m (0,32-0,64м)	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 m (0-0,32м)	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

Наприклад, потрібно розрахувати ядро зони a_2 , якщо R_b в ядрі зони f_2 дорівнює 40 МПа. $R_{b1} = 40$ МПа – це і є задана характеристика бетону. За допомогою таблиці 1 визначимо що $R_1 = 131.58$ – це процентне відношення, яке відповідає зоні f_2 , а $R_2 = 165.99$ – це процентне відношення, яке відповідає зоні a_2 . Підставивши ці дані в формулу 1 отримаємо:

$$R_{b2} = \frac{165.99}{131.58} 40 = 50.46 \text{ МПа.}$$

2. Якщо потрібно розрахувати характеристики бетону в будь якій частині зони (не в ядрі), то потрібно спочатку визначити значення R_1 та R_2 , які знаходяться поза межею таблиці. Тоді можна використати наступну методику, основану на математичному апараті точкове числення [11,12,13].

Розглянемо більш докладніше рисунок 4. Приймаємо початок координат в ядрі лівої нижньої зони. Оскільки кожен шар колони має однакову структуру і симетричні зони, відносно діагоналей квадрата колони, то можна спростити розрахункову схему (рис. 2с) взявши не весь квадратний шар колони, а тільки його чверть (рис. 4).

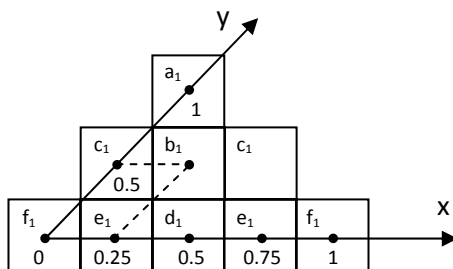


Рис. 4. Розрахункова схема шару колони

Для спрощення рівнянь використаємо косокутну систему координат. Ось x візьмемо горизонтальну, а ось y – по діагоналі від початку координат до центру колони. По осі x візьмемо параметр u , який буде змінюватись (текти) від 0 до 1. По осі y візьмемо параметр v , який теж буде змінюватись від 0 до 1 (рис. 2, 3). Тоді, наприклад, параметри u і v в ядрі зони b_1 дорівнюватимуть відносно 0.25 та 0.5.

Визначимо характеристики R_1 та R_2 за допомогою рівняння:

$$\begin{aligned} R_i = & M_1 \left(\frac{-4}{w} - \frac{13}{3} \bar{w} w + \frac{13}{3} \bar{w}^2 w^2 - \bar{w} w^3 \right) + M_2 \left(16 \bar{w}^3 w - \frac{64}{3} \bar{w}^2 w^2 + \frac{16}{3} \bar{w} w^3 \right) + \\ & + M_3 \left(-12 \bar{w}^3 w + 40 \bar{w}^2 w^2 - 12 \bar{w} w^3 \right) + M_4 \left(\frac{16}{3} \bar{w}^3 w - \frac{64}{3} \bar{w}^2 w^2 + 16 \bar{w} w^3 \right) + \\ & + M_5 \left(w^4 - \bar{w}^3 w + \frac{13}{3} \bar{w}^2 w^2 - \frac{13}{3} \bar{w} w^3 \right) \end{aligned} \quad (2)$$

де $\bar{w} = 1 - w$.

Точки M_i визначимо за допомогою рівняння, отриманого на основі експериментальних даних в зонах колони, які наведені в таблицях 1,2:

$$M_i = \left(\frac{(f_i - a_i)(c_i - a_i)v^2}{(c_i - a_i)(1 - 2v)^2 + (f_i - a_i)v\bar{v}} + a_i \right) (\bar{u} - u)^2 + 4 \left(\frac{(d_i - a_i)(b_i - a_i)v^2}{(b_i - a_i)(1 - 2v)^2 + (d_i - a_i)v\bar{v}} + a_i \right) u\bar{u} \quad (3)$$

де $\bar{u} = 1 - u$, $\bar{v} = 1 - v$.

Розглянемо ці рівняння. Параметри u, v, w визначають геометричне положення точки, a_i, b_i, c_i, d_i, f_i – експериментальні данні характеристик бетону по зонах колони, отримані при дослідженні колони, які наведені в таблицях 1,2.

Аналогічним чином можна використати даний алгоритм для визначення не тільки характеристики R_b , а й інших характеристик бетону.

Висновки

Експериментально встановлені співвідношення між показниками міцності, початкового модуля пружності та граничної стискальності різних зон по об'єму монолітних вертикальних елементів та співвідношення до відповідних показників характеристик нерозпиляного фрагменту колони та усереднених показників стандартних зразків. Ці співвідношення дозволяють визначати показники характеристик будь-якої зони інших подібних вертикальних елементів, маючи дані о показниках характеристик лише однієї або декількох зон бетону в указаних межах. Наведені співвідношення між показниками характеристик різних зон вертикального елемента відповідають тільки нижній його частині на висоту 1,6 м у віці 2-3 роки. Також треба враховувати можливі відхилення від технології (технологічні фактори), котрі суттєво змінюють так званий масштабний фактор, тобто співвідношення між показниками характеристик усього фрагменту та усередненими показниками характеристик його стандартних зразків (“reference specimens”) [14].

Література

1. В.А. Клевцов, М.Г. Коревицкая. Об организационно-технических проблемах НК прочности бетона. – В мире НК. 2002. № 2(16). С.16-17.
2. М.С. Булавицкий, Исследование неоднородности бетона вертикальных элементов монолитных зданий ультразвуковым импульсным методом // Материалы V международной научной конференции молодых ученых, аспирантов, студентов (секция каф. “Бет. и железобет. констр.”). Вестник ДонНУСА 2006-4(60).-С. 169-171.
3. V.I. Veretennykov, A.M. Yugov, A.O. Dolmatov, M.S. Bulavytskyi, D.I. Kukharev and A.S. Bulavytskyi // Concrete Inhomogeneity of Vertical Cast-In-Place Elements In Skeleton-Type Buildings // Сборник докладов Международной конференции “Интеграция в строительстве”, USA (Denver), September 2008 г.
4. Материалы интернет ресурса исследований автора www.ConcreteResearch.org.
5. Структурообразование и разрушение цементных бетонов, Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С.М., Комохов П.Г., Уфа, 2002 г. С. 373.
6. N. Yuasa, Y. Kasai, and I. Matsui. Inhomogeneous Distribution of Compressive Strength from Surface Layer to Interior of Concrete in Structures // Special Publication 2002.- Vol. 192 pp. 269-282.

7. Корсун В.И., Калмыков Ю.Ю. Неоднородность прочностных и деформативных свойств бетона по объему массивных элементов конструкций // Современные проблемы строительства. - Донецк: Донецкий ПромстройНИИпроект, ООО "Лебедь" - 2002. - Т.2. - С.95-102.
8. Лещинский А.М., Систематическая неоднородность прочности тяжелого бетона в сборных железобетонных изделиях, формуемых на виброплощадках, Дисс. на соиск. степ. к.т.н., Киев, 1981. – 202 с.
9. A.M. Leshchinsky, Systematic differences of concrete strength in precast products, Materials and Structures, 1991, 24, С.137-142.
10. М.С. Булавицкий, Механизм возникновения явления неоднородности свойств тяжелого бетона по объему вертикальных монолитных элементов // Вестник ДонНАСА “Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства” 2009-6 (80).
11. М.С. Булавицкий, Получение уравнений распределения прочности бетона по объему вертикального монолитного элемента с использованием математического аппарата точечного исчисления // Матер. межд. науч.-практ. конф. “Новые технологии в монолитно-каркасном строительстве” Научный вестник строительства 52, Харьков, ХГТУСА ХОТВ АСУ, апр. 2009 р. С. 272-278.
12. Балюба И.Г., Полищук В.И., Горягин Б.Ф., Малютин Т.П. Точечное исчисление – математический аппарат параллельных вычислений для решения задач математического и компьютерного моделирования геометрических форм. // Материалы Международной научной конференции «Моделирование – 2008», 14-16 мая 2008 р., г. Киев, Том 2. – С.286-290. Институт проблем моделирования в энергетике им. Г.Е. Пухова НАН Украины.
13. Поліщук В.І., Конопацький Є.В. Побудова просторової дуги кривої третього порядку.// Збірник тез доповідей і повідомлень XXXV міжнародної наукової конференції молодих вчених, аспірантів і студентів. Макіївка: ДонДАБА. – 2009 р.
14. M. Bulavytskyi, V. Veretennykov, A. Dolmatov ‘Technological factors, arising under vertical members of the skeleton-type in-situ buildings production and influence of some onto strength and deformation characteristics of concrete’ Сборник докладов 7-го Международного Конгресса “Бетон – жизнеутверждающий выбор строительства”, Dundee, Scotland, 8-10 July 2008. С.10.