

УДК 666.973

## ВПЛИВ ВОДОПОТРЕБИ РОЗЧИННОЇ СУМІШІ ТА ЩІЛЬНОСТІ ПІНОБЕТОНУ НА ЙОГО МІЦНІСТЬ

Мартинов В.І. (Одеська Державна академія будівництва та архітектури)

Коваль П.М., Кушнір О.В. Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна, м. Київ

В результаті натурного експерименту одержано комплекс поліноміальних моделей основних властивостей пінобетону на підставі яких визначені характер і ступінь впливу змінних чинників на його властивості, виявлена зміна напрямку вектору міцності пінобетону залежно від водопотреби суміші розчину і густини пінобетону.

**Вступ.** Впродовж останнього десятиліття в будівництві почали широко застосовувати конструкції та вироби з пінобетону. До переваг пінобетонних конструкцій в порівнянні зі звичайними залізобетонними конструкціями можна віднести їх невелику вагу та хороші теплофізичні характеристики при порівняно невисоких характеристиках міцності.

Однак в пінобетоні в порівнянні з конструкційними матеріалами лишається досить багато невивчених питань. В роботах [1,2] показано, що на початковій стадії структуроутворення матеріали щільної і пористої будови поведуться по-різному, що відбивається на зміні характеру впливу різних факторів на їх властивості. Наприклад, при густині пінобетону 500 - 600 кг/м<sup>3</sup> підвищення В/Ц, у відмінності від матеріалів щільної будови, не приводить до зниження міцності. Причиною подібного поведіння є розходження в умовах формування структури, і як наслідок у характері розподілу твердої складової. Як показано на фізичних моделях матеріалів щільної й пористої структури в результаті дегідратації рідини відбувається зміна первісного вигляду моделі з утворенням усадочних тріщин (границь розділів фаз). Комп'ютерна обробка моделей показала, що в матеріалах щільної структури з підвищенням водо-твердого відношення зменшується довжина границі розподілу фаз, а в матеріалах пористої структури навпаки, що є причиною різного впливу водо-цементного відношення в матеріалах щільної й пористої будови. Для визначення впливу водо-твердого (водо-цементного відношення) при різній щільності пінобетону на його міцність був проведений експеримент.

**Мета експерименту** визначення зміни напрямку вектора міцності пінобетону в залежності від водопотреби пінобетонної суміші й щільності пінобетону.

**Методика та результати експерименту.** Всі експериментальні роботи за визначенням впливу рецептурно-технологічних чинників на фізико-механічні властивості неавтоклавно пінобетону проводили в лабораторії кафедри виробництва будівельних виробів і конструкцій Одеської державної академії будівництва і архітектури.

Як незалежні змінні, в трирівневому плані Бокса-Бенкіна типу В-3, були прийняті: зміст наповнювача ( $0,5 \pm 0,2$  долях од. від маси цементу), діаметр розпливу розчину по віскозиметру Суттарда ( $250 \pm 50$  мм) і густина пінобетонної суміші ( $1150 \pm 250$  кг/м<sup>3</sup>).

Таблиця 1. Матриця планування і результати експерименту

№ п/п	Чинники			Властивості		
	X1	X2	X3	Середня густина пінобетону, кг/м <sup>3</sup>	Міцність пінобетону, МПа	Міцність при стисненні складової розчину, МПа
	Н	Д	З			
1	-	+	-	637	1,0	33,5
2	+	-	-	718	0,7	12,8
3	-	+	-	792	1,6	19,4
4	+	-	-	769	0,7	7,8
5	-	+	+	1226	5,1	41,5
6	+	-	+	1177	3,4	9,8
7	-	+	+	1212	3,7	29,8
8	+	-	+	1160	3,1	8,9
9	-	0	0	986	3,3	35,3
10	+	0	0	1026	1,7	10,0
11	0	-	0	921	2,7	25,1
12	0	+	0	1071	3,0	15,6
13	0	0	-	735	0,9	20,4
14	0	0	+	1217	4,3	19,7
15	0	0	0	1067	2,9	20,0

В результаті реалізації експерименту були визначені фізико-механічні характеристики пінобетону (середня густина та міцність при

стисненні в сухому стані) і міцність(активність) розчинної складової. Матриця планування і результати експерименту приведені в таблиці 1.

По отриманим результатам експерименту в системі COMPEX були побудовані математичні моделі досліджуваних властивостей. На підставі математичних моделей побудовані графічні залежності, що відображають ступінь і характер впливу досліджуваних чинників на властивості пінобетону, а також ізоповерхні досліджуваних властивостей.

Як видно з графіків найбільший вплив на зміну міцності пінобетону надає третій чинник – густина пінобетонної суміші, або, що рівнозначно середня густина пінобетону. Другим по значущості чинником є чинник  $X_1$  – вміст наповнювача. Як у зоні максимальних, так і в зоні мінімальних значень збільшення вмісту наповнювача призводить до зниження міцності пінобетону. Певний інтерес представляє характер впливу водопотреби суміші розчину. Так в зоні мінімальних значень (низька середня густина пінобетону, висока пористість) підвищення водопотреби приводить до підвищення міцності пінобетону. В той же час в зоні високої густини характер впливу цього чинника змінюється на протилежний.

Вплив водопотреби суміші (діаметр розпливу розчину по віскозиметру Суттарда) розчину носить неоднозначний характер. У зоні мінімальних значень міцності (що відповідає низьким значенням середньої густини пінобетону) підвищення водопотреби веде до збільшення міцності, а в зоні підвищених міцностей до зниження (рис. 1). У роботах [3] показано, що для пінобетонів середньої густини 500-600 кг/м<sup>3</sup> міцність його не визначається міцністю складової розчину, а визначальним чинником є характеристики реологій суміші розчину. Найбільш сприятливими умовами формування структури пінобетону служить суміш розчину з показниками діаметру розпливу розчину по віскозиметру Суттарда 280-340 мм. Іншими словами, якщо в суміші розчину підвищення водопотреби (підвищення В/Ц) призводить до зниження міцності, то в пінобетонах середньої густини 500-600 кг/м<sup>3</sup>, в певних інтервалах, за інших рівних умов, підвищення В/Ц збільшує його міцність.

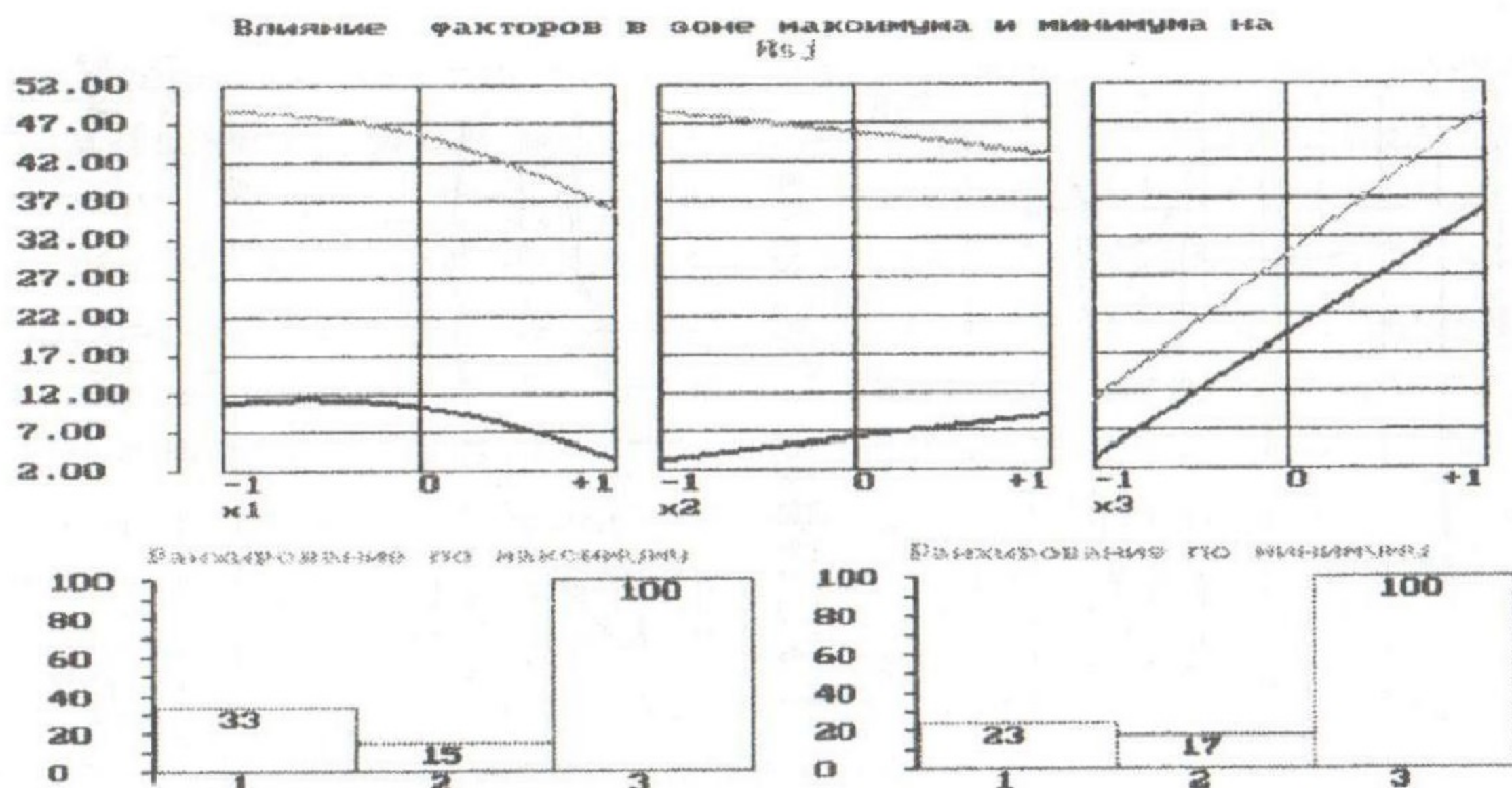


Рис. 1 Ступінь і характер впливу чинників на міцність пінобетону

Таким чином, встановлено, що характер зміни міцності пінобетону від водов'язучого відношення залежить від густини пінобетону суміші і пінобетону. У реалізованому експерименті густина пінобетону змінюється від 637 до 1212 кг/м<sup>3</sup>, а міцність від 0,7 до 5,1 МПа. Для визначення напряму зміни міцності пінобетону від водопотреби суміші розчину при різній постійній середній густині пінобетону на підставі математичних моделей міцності (МПа):

$$R_{ct} = 2,8 - 0,5x_1 + 1,3x_2 + 0,26x_{12} - 0,13x_{13} - 0,3x_{23} - 0,3x_{11}^2 - 0,2x_{22}^2 \quad (3.1)$$

і середньої густини (кг/м<sup>3</sup>):

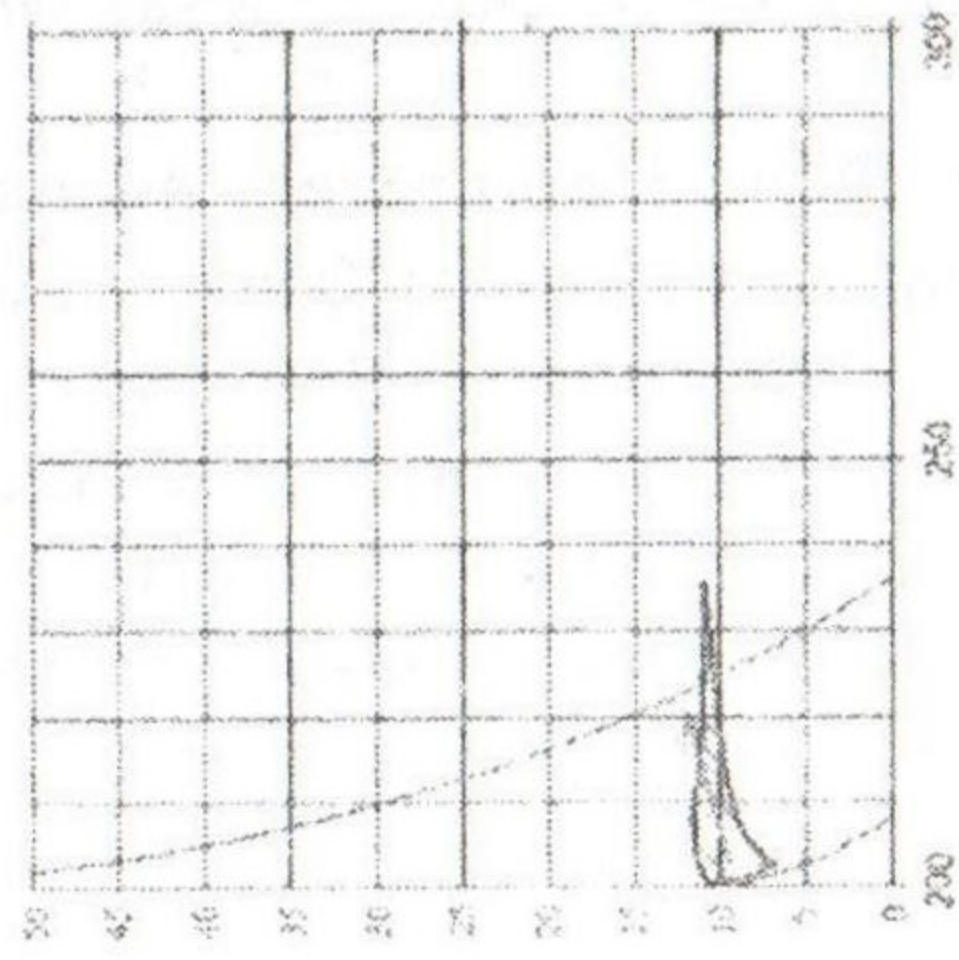
$$\rho_{сух} = 1025 + 32x_1 + 234x_3 - 13x_{12} - 20x_{13} - 30x_{23} - 19x_{11}^2 - 39x_{33}^2 \quad (3.2)$$

проведений ізопараметричний аналіз.

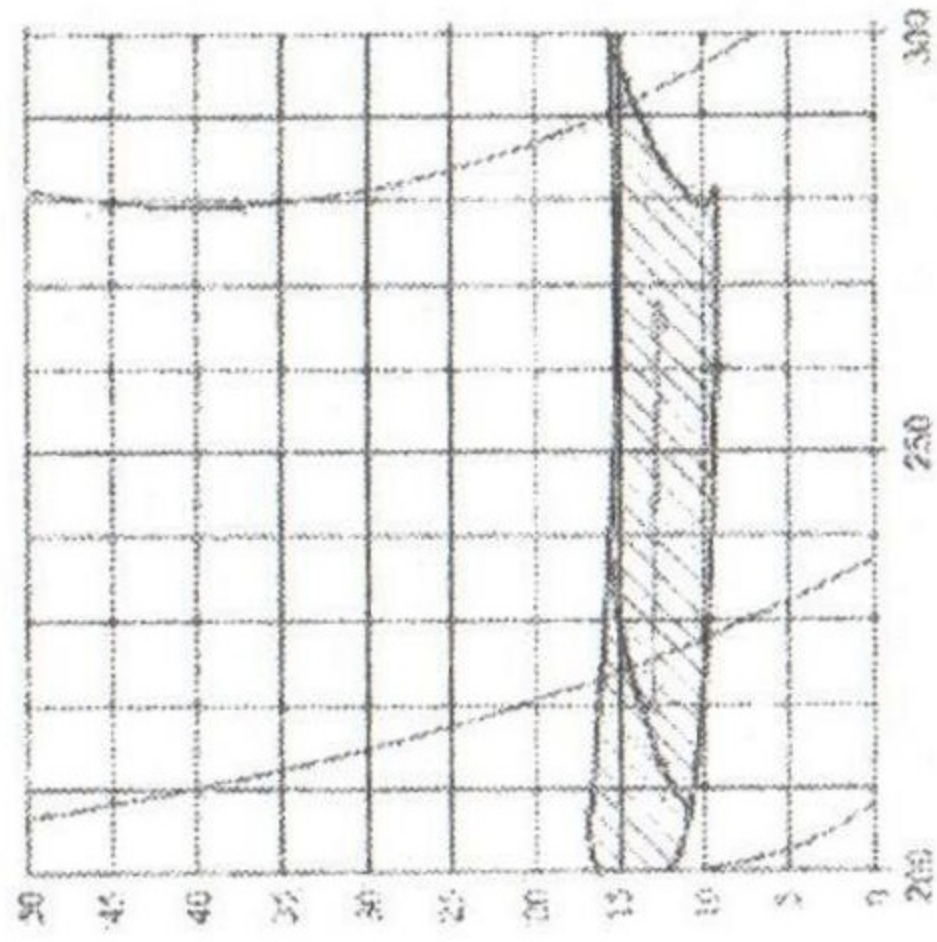
Для цього на початку в координатах змінних чинників  $X_2$  (водопотреба суміші розчину) і  $X_1$  (зміст наповнювача) при певних змінах чинника  $X_3$  (густина пінобетонної суміші) будувалися ізолінії густини пінобетону в сухому стані. Після цього координати ізолінії густини підставляли в математичну модель міцності пінобетону і обчислювали значення міцності. Результати обчислень представлені в графічному зображенні на рис. 2.

По осі абсцис, в кожній координатній сітці, відкладені значення діаметру розпливу розчину. По осі ординат з правого боку – вміст наповнювача, з лівою – міцність пінобетону. Над кожною координатною сіткою вказані значення середньої густини, в діапазоні зміни якої побудовані ізолінії густини пінобетону. Заштрихована область відображає зміну міцності для розрахункової густини пінобетону.

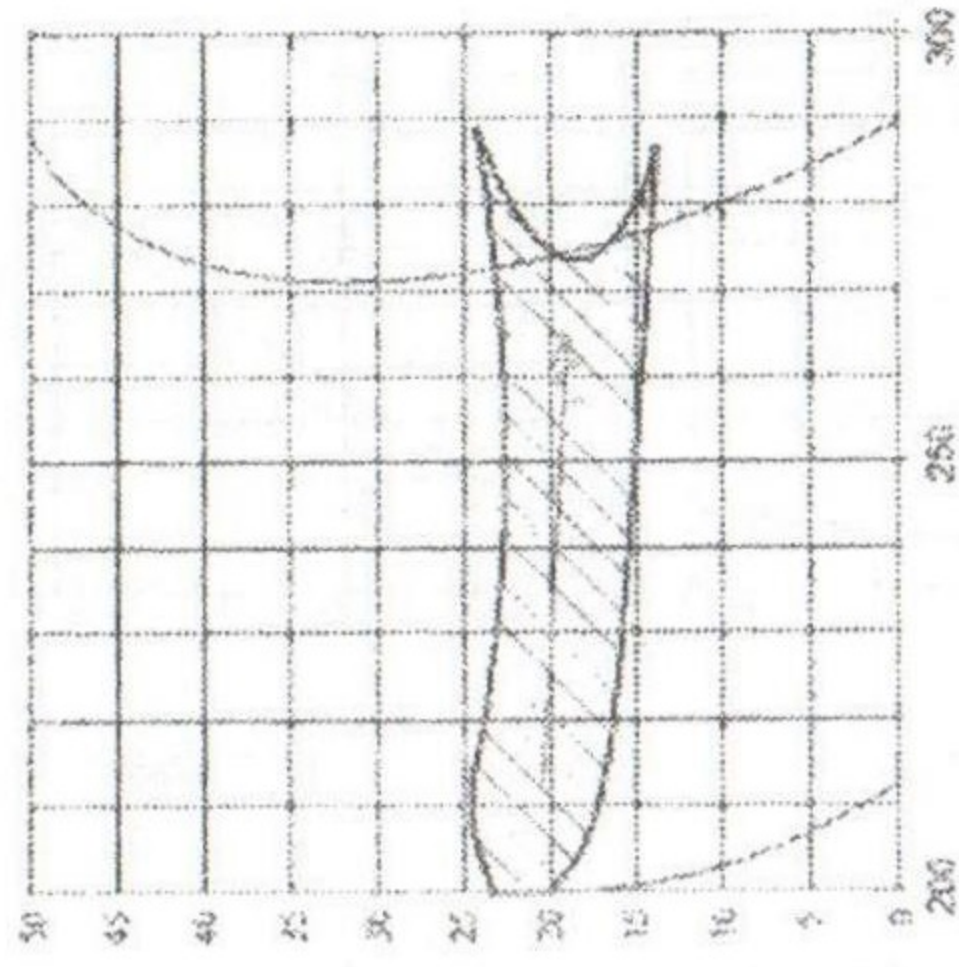
ГУСТИНА 700 КГ/М<sup>3</sup>



ГУСТИНА 800 КГ/М<sup>3</sup>

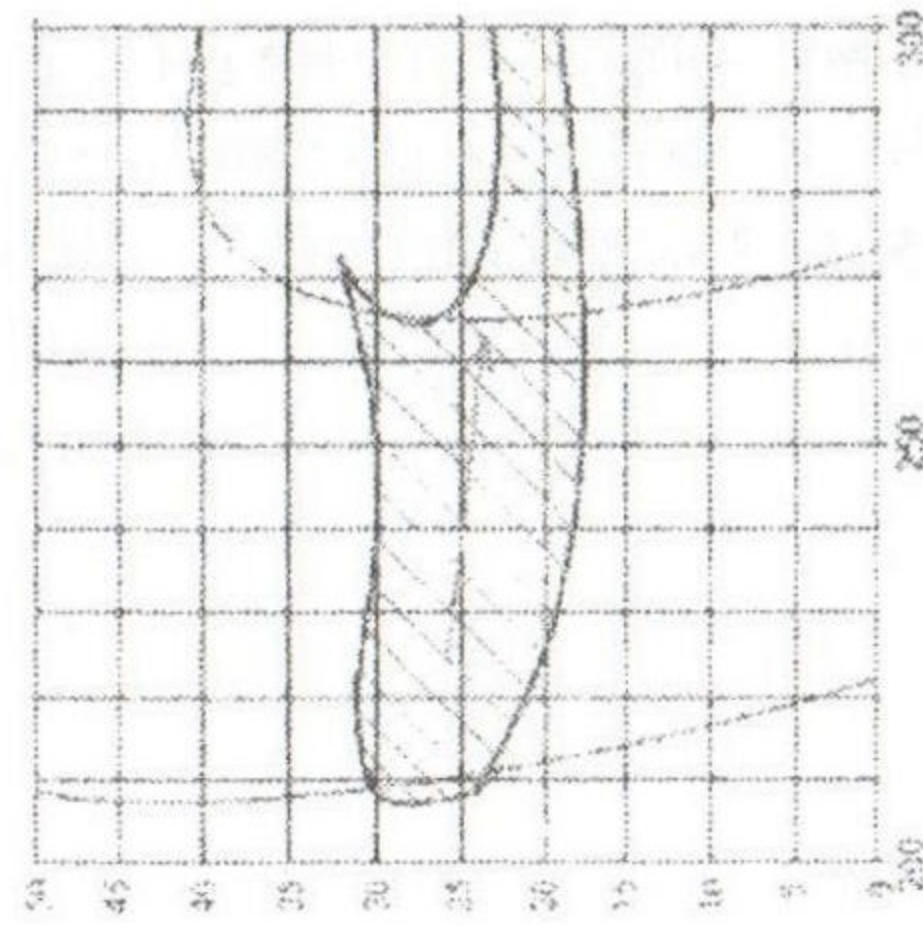


ГУСТИНА 900 КГ/М<sup>3</sup>

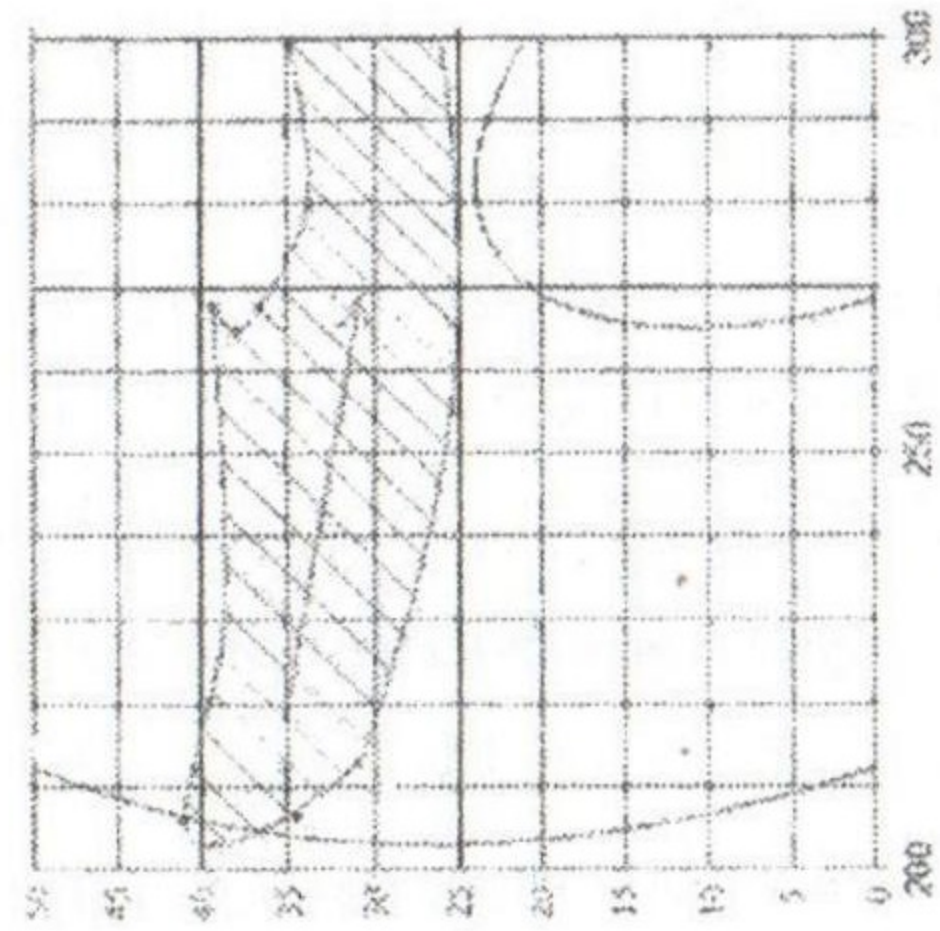


233

ГУСТИНА 1000 КГ/М<sup>3</sup>



ГУСТИНА 1100 КГ/М<sup>3</sup>



ГУСТИНА 1200 КГ/М<sup>3</sup>

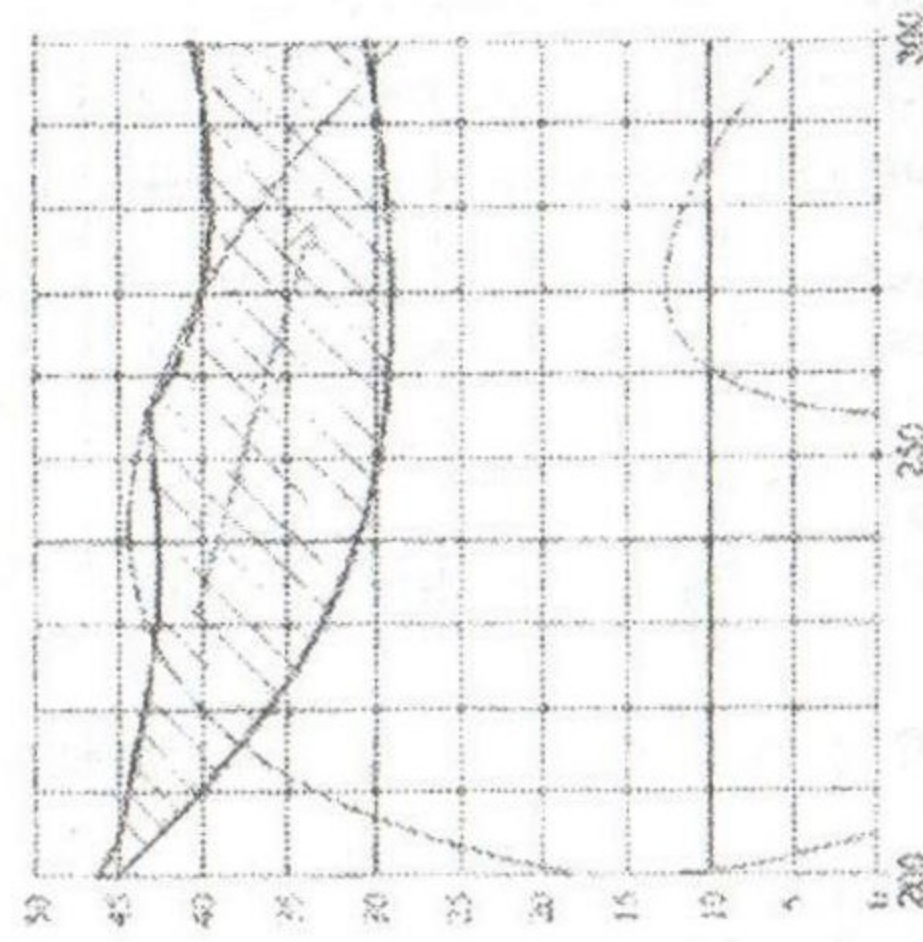


Рис. 2 – Ізоповерхні міцності при постійній густині

Усередині заштрихованої області умовно стрілками показаний напрям (вектор) зміни міцності пінобетону. Як видно, при густині пінобетону  $700 \text{ кг/м}^3$  підвищення водопотреби суміші (водоцементного відношення) розчину приводить до зростання міцності. Надалі з підвищенням густини пінобетону напрям вектора міцності змінюється. При густині пінобетону  $800 \text{ кг/м}^3$  міцність практично не залежить від діаметру розпливу розчину. З подальшим підвищенням густини від  $900 \text{ кг/м}^3$  і вище із збільшенням діаметру розпливу розчину міцність знижується. Причому, чим вище густина пінобетону, тим більше кут нахилу вектора міцності до осі абсцис.

Таким чином, якщо враховувати результати [3] і результати приведеного експерименту, можна констатувати, що при густині пінобетону до  $700 \text{ кг/м}^3$ , при постійному співвідношенні Т/Г, підвищення водоцементного відношення приводить до зростання міцності. При густині пінобетону  $900 \text{ кг/м}^3$  і вище виконується “правило В/Ц” і з підвищенням водопотреби сумішей міцність пінобетону знижується. Висловлене, також підтверджується результатами, приведеними на рис. 3, де зображені залежності міцності пінобетону від активності складової розчину. Дані п'ятнадцяти строчок експерименту згруповані в три групи по густині пінобетонної суміші. Кожна з груп проаксимована поліномом другого ступеня, побудовані лінії тренда і обчислені коефіцієнти кореляції.

Розглядаючи коефіцієнти кореляції видно, що найменша кореляція (0,4) спостерігається при мінімальній густині пінобетону ( $637\text{-}792 \text{ кг/м}^3$ ). При підвищенні густини пінобетонної суміші (пінобетону) підвищується коефіцієнт кореляції між міцністю пінобетону і активністю розчину становить 0,68 і 0,73 при густині пінобетону  $921\text{-}1071$  і  $1160\text{-}1229 \text{ кг/м}^3$  відповідно.

Пояснюється подібне явище відмінністю в характері змін твердої складової, викликаних змінами об'єму дегідратуючих і гідратуючих систем [3].

Проте, в експерименті у всьому діапазоні зміни властивостей простежується певний кореляційний зв'язок між міцністю і середньою щільністю пінобетону. На підставі одержаних експериментальних значень в системі EXCEL побудований графік залежності міцності від густини пінобетону, приведений на рисунку 4.

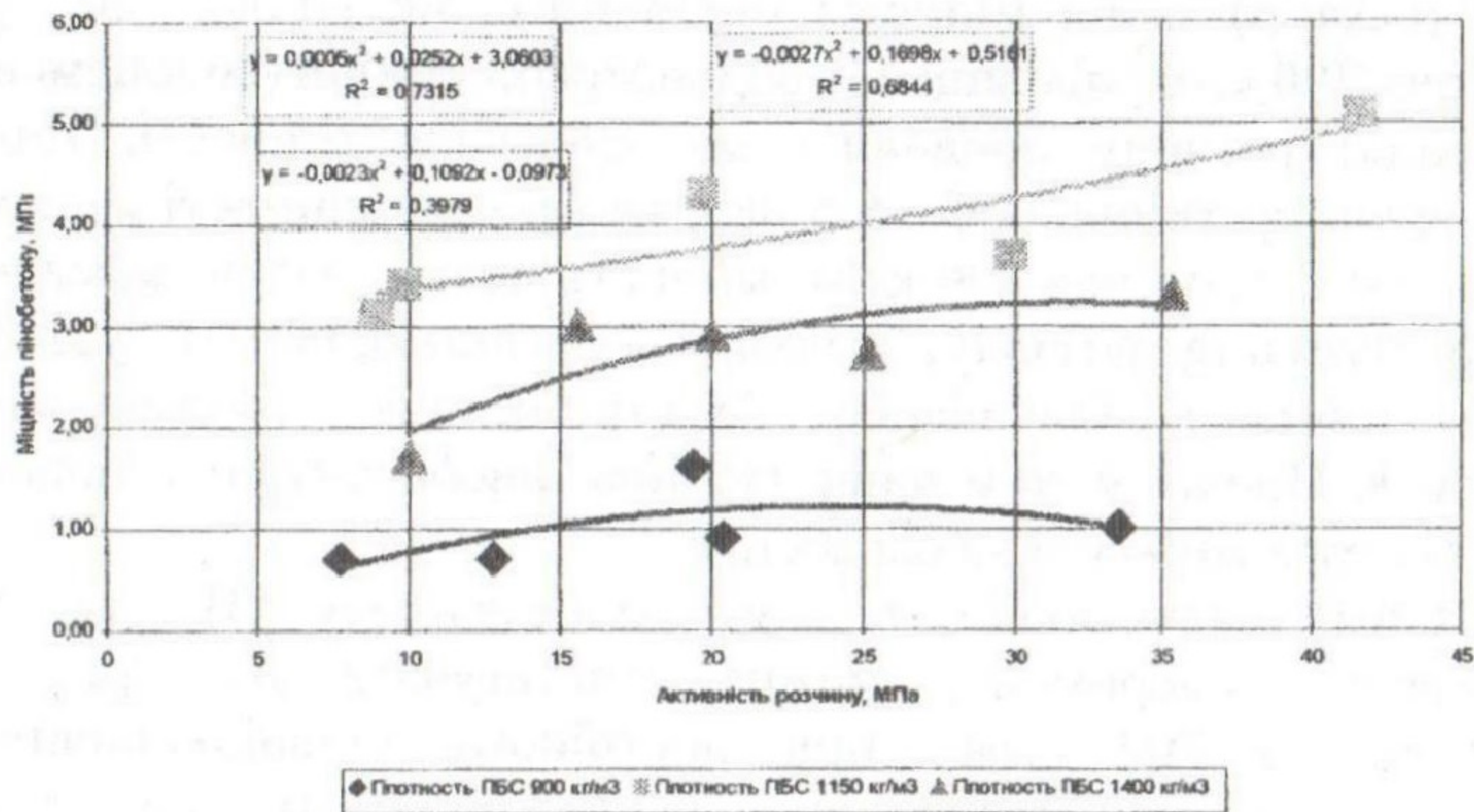


Рис. 3 Залежність міцності пінобетону від активності складової розчину.

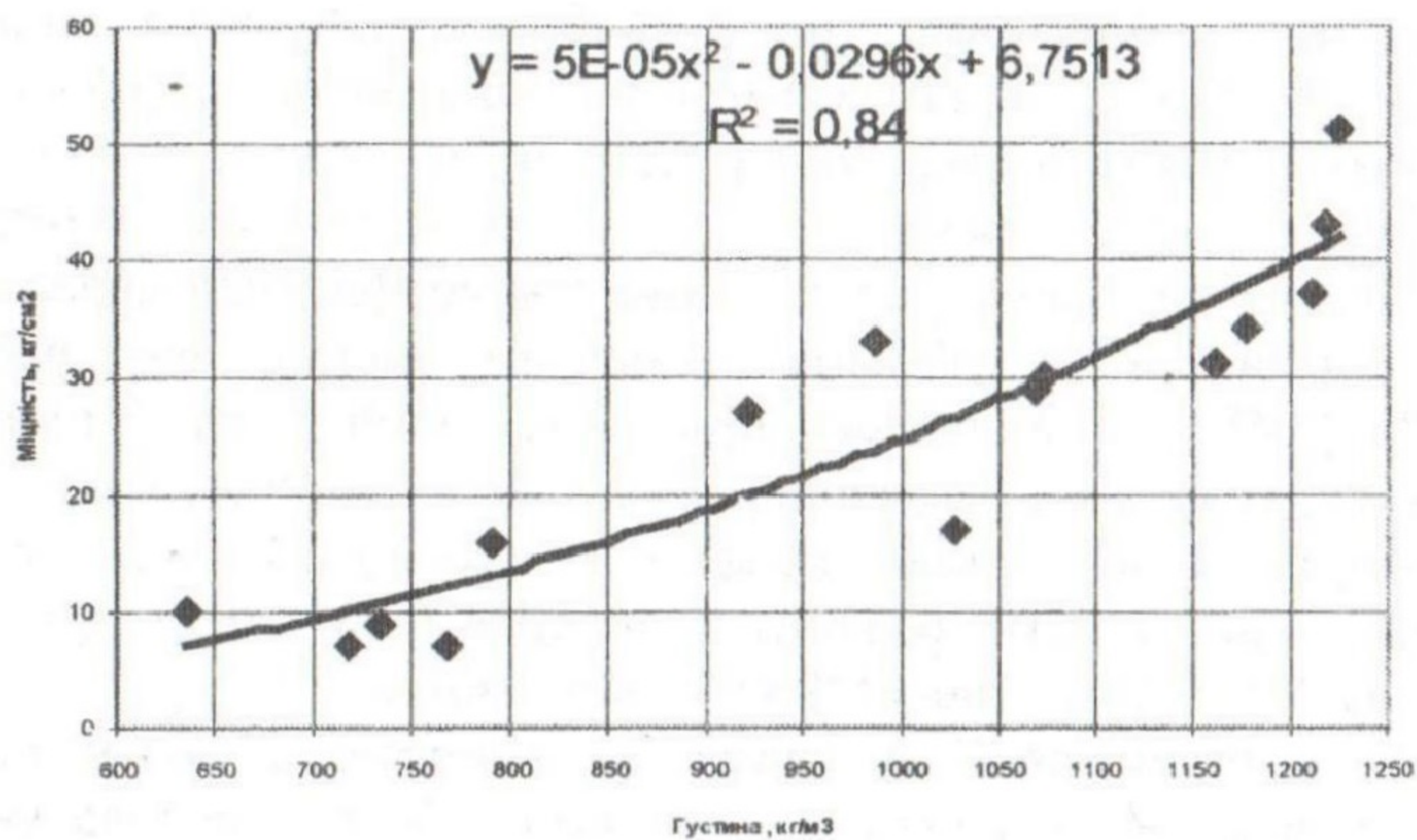


Рис. 4. Кореляційна залежність між міцністю і середньою щільністю пінобетону

Результати проаксмовані поліномом другого порядку з достатньо високим коефіцієнтом кореляції – 0,84. Розкид значень від лінії тренда пояснюється помилкою експерименту, а також впливом перших двох чинників. Проте, при виборі пінобетону з необхідними показниками міцності цілком придатно використання одержаної емпіричної залежності.

### **Висновки:**

1. Аналіз механізмів структуроутворення пінобетону дозволив встановити, що його властивості визначаються характером розподілів твердої складової, на підставі чого розроблений план експериментальних робіт.

2. В результаті реалізації експерименту одержаний комплекс поліноміальних моделей основних властивостей пінобетону на підставі яких визначені характер і ступінь впливу змінних чинників на його властивості.

3. На підставі ізопараметричного аналізу математичних моделей міцності і густини виявлене зміна вектора міцності пінобетону залежно від водопотреби суміші розчину і густини пінобетону. Встановлено, що при густині пінобетону до  $700 \text{ кг/м}^3$  підвищення водопотреби приводить до зростання міцності, а при густині  $900 \text{ кг/м}^3$  і більш до зменшення.

### **Література:**

1. Мартынов В.И., Выровой В.Н., Орлов Д.А. Анализ структурообразования и свойств неавтоклавного пенобетона. М.: Строительные материалы. №1, 2005, с.48-49.
2. Мартынов В.И., Выровой В.Н., Орлов Д.А. Особенности структурообразования и пути улучшения свойств неавтоклавного пенобетона. Киев, Строительные материалы и изделия. №2, 2005, с. 17-21.
3. Мартынов В.И., Орлов Д.А., Мартынов Е.В., Бойко Т.В. Изучение характера распределения твердой фазы в процессе дегидратации на физических моделях материалов макропористой структуры. Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. Випуск №20. Одеса, 2005 с.243-249