

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МОРОЗОСТІЙКОСТІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПОШКОДЖЕНОСТІ МОДИФІКОВАНОГО ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ

Мішутін А.В., Романов О.А. (Одеська державна академія
будівництва та архітектури, м. Одеса)

Досліджено коефіцієнт технологічної пошкодженості $K_{пс}$ та морозостійкість бетону, модифікованого Пенетроном Admix та С-3. Показано, що по величині зміни $\Delta K_{пс}$ під дією заморожування та відтаювання можна прогнозувати морозостійкість матеріалу.

В Україні значна частина гідротехнічних споруд (ГТС) експлуатуються у важких умовах вже десятки років. Бетон цих конструкцій піддається зволоженню та висушуванню, заморожуванню та відтаюванню, напірній фільтрації. Слід також відмітити невелику товщину частини конструкції: 15-20 см для стінок насосних станцій, 8-12 см для стінок каналів та конструкцій водопропускних споруд. Проведенні обстеження [1-3] показали, що найпоширеніші проблеми для ГТС меліорації – це фільтрація води через бетон та руйнування під дією морозу. Тому задача створення бетонів з високими показниками водонепроникнення та морозостійкості для відновлення та будівництва нових ГТС залишається актуальною.

Для суттєвого підвищення водонепроникнення та морозостійкості бетонів в закордонній та вітчизняній практиці в останні роки використовуються спеціальні добавки, які діють за рахунок кольматації пор та капілярів. Одним з найпоширеніших та найякісніших на сучасному етапі модифікатором є Пенетрон. Проте, для ефективного застосування цього модифікатору з вітчизняними матеріалами необхідно оптимізувати склади композитів та методику робіт при відновленні ГТС.

Досліджувався вплив на властивості дрібнозернистого бетону для ГТС меліорації дозування цементу, добавки суперпластифікатору, Пенетрону Admix та рідкого скла, яке багато років застосувалося у вітчизняній практиці для підвищення водонепроникнення бетону [4,5].

Експеримент проводився за 18-ти точковим оптимальним планом [6]. Варіювалися чотири фактори складу дрібнозернистого бетону: X_1

– дозування сульфатостійкого портландцементу, від 600 до 800 кг/м³; X₂ – дозування суперпластифікатору С-3, від 0.6 до 1% від маси цементу; X₃ – дозування добавки Пенетрон Admix, від 0 до 3% від маси цементу; X₄ – дозування натрієвого рідкого скла, від 0 до 4% від маси цементу. Використовувався митий пісок з модулем крупності 2.8.

Всі суміші мали рівну легкоукладальність (8-10 см по penetрації стандартного конусу). Тобто В/Ц суміші залежало від складу. Аналіз впливу факторів на цей технологічний параметр показав, що мінімальне В/Ц мають композити з максимальним дозуванням цементу, вмістом пластифікатору близько 0.8% та без Пенетрону і рідкого скла.

Для міцності при стиску в водонасиченому стані в марочному віці, як одного з основних показників якості для бетонів ГТС меліорації, одержано адекватну експериментально-статистичну модель (S_e=2МПа):

$$R_{c,w} \text{ (МПа)} = 32.85 + 4.54x_1 - 1.24x_1x_2 - 1.26x_2 - 2.58x_2^2 - 1.44x_3^2 - 0.75x_3x_4 - 12.98x_4 + 2.40x_4^2 \quad (1)$$

Поле цієї моделі [7] має максимум $R_{c,w,max} = 53.48$ МПа (при $x_1 = 1$, $x_2 = -0.49$, $x_3 = 0.26$, $x_4 = -1$) та мінімум $R_{c,w,min} = 13.0$ МПа (при $x_1 = -1$, $x_2 = x_3 = x_4 = 1$).

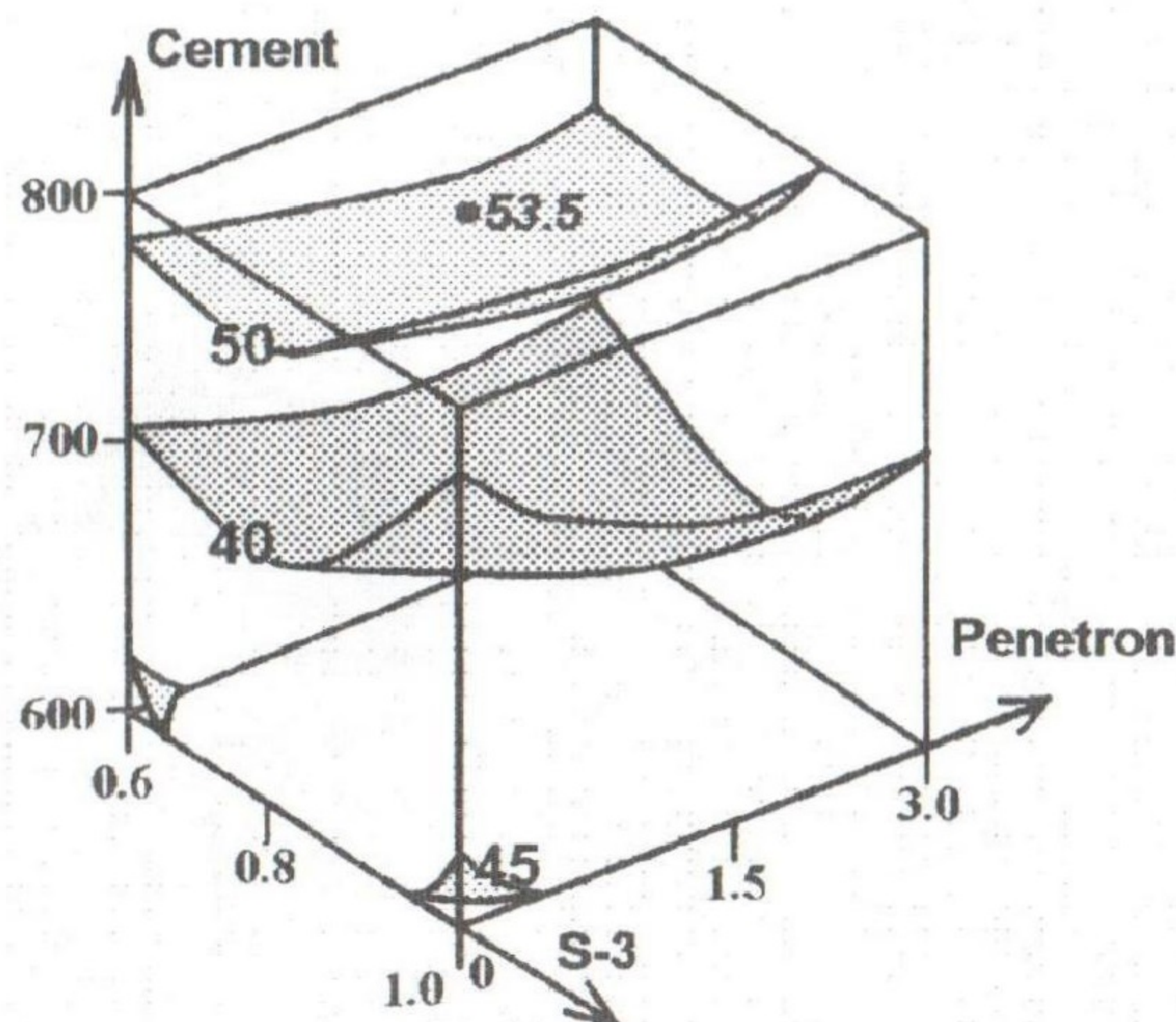


Рис.1. Вплив факторів складу модифікованого бетону на міцність при стиску в водонасиченому стані (МПа).

Аналіз моделі дозволяє сказати, що на міцність при стиску модифікованого дрібнозернистого бетону у водонасиченому стані найбільш істотно та негативно впливає введення у склад рідкого скла. Це можна пояснити різким зниженням Ц/В суміші рівної рухомості при введенні цього модифікатору. Діаграма у вигляді кубу, яка відображає вплив факторів складу на міцність при стиску, побудована по моделі (1) при рівні фактору $x_4 = -1$, тобто для композитів без рідкого скла, показана на рис. 1.

У віці 180 діб визначалася коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону [8,9] по площі K_{ns} – відношення суми довжин поверхневих тріщин у межах ділянки до площі цієї ділянки. Прояв тріщин робився за рахунок експонування зразків в розчині запареної дубової кори. Для досягнення більшої точності зразки фотографувалися цифровою фотокамерою, потім зображення друкувалися у масштабі 3:1. Довжина проявлених поверхневих (технологічних) тріщин замірювалася курвіметром по надрукованим фотографіям.

Початковий аналіз K_{ns} у 18 експериментальних точках показав, що сама величина цього коефіцієнту відрізняється між зразками із окремими складів не більше, ніж на 19% – від 2.31 до 2.75 см/см². Але розподіл на поверхні технологічних тріщин у композитів з різних складів принципово відрізняється. На рис.2 показано у однаковому масштабі вигляд тріщин на поверхнях зразків з однаковим дозуванням цементу (600 кг/м³) та С-3 (1%), але на рис.2.а – композит, модифікований 1.5% Пенетрону Admix, а на рис.2.б – модифікований 4% рідкого скла.

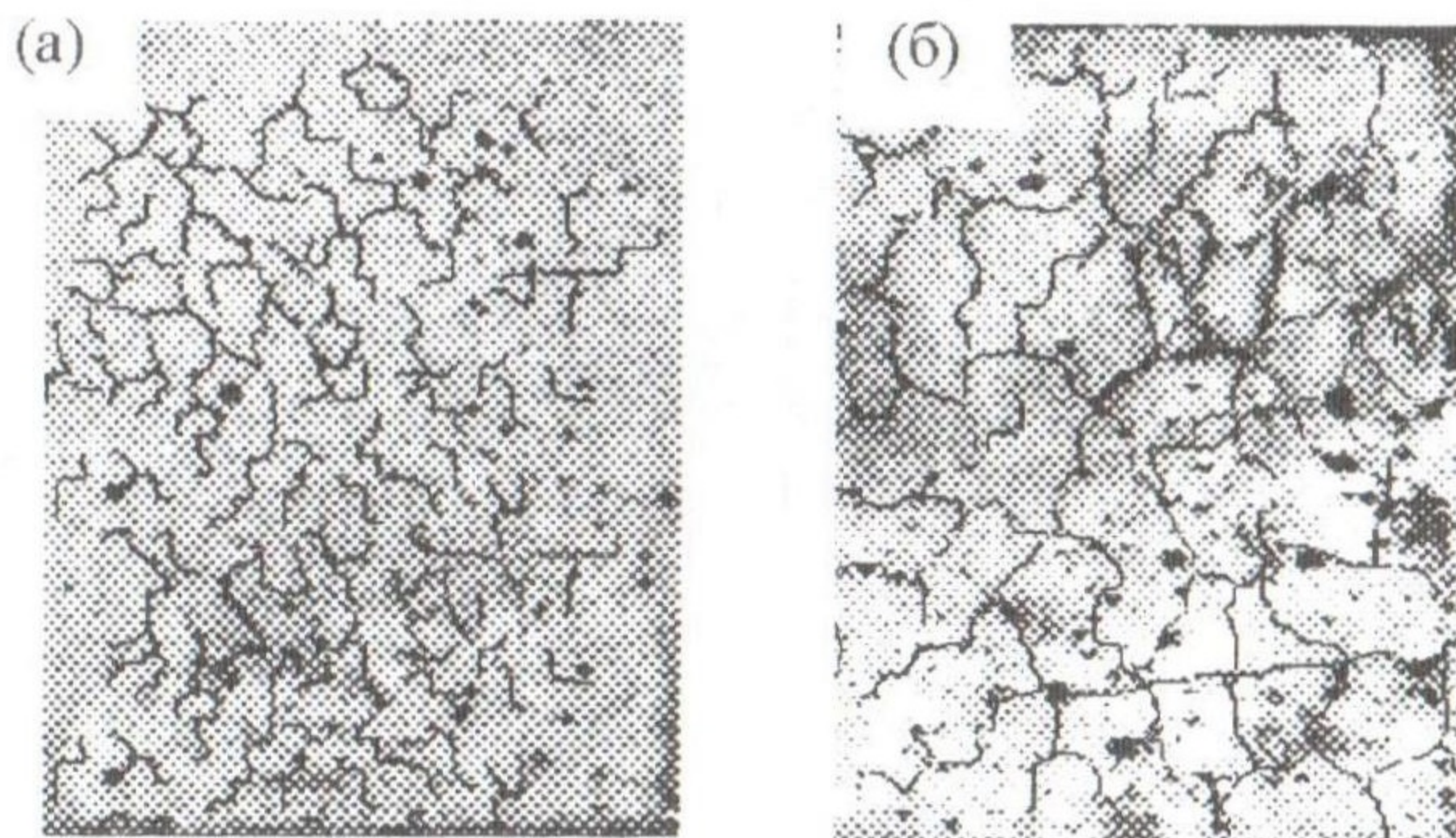


Рис.2. Вигляд технологічних тріщин на поверхнях зразків
а - модифікованих 1.5% Пенетрон Admix;
б- модифікований 4% рідкого скла.

На фото можна побачити, що склади з рідким склом мають більш довгі тріщини, які розділяють матрицю бетону на окремі доволі великі масиви. На поверхні складів без рідкого скла з Пенетроном малюнок тріщин має більш дискретний вигляд: тріщини набагато коротші, хоча їх більше.

З метою одержання більш виразних числових показників впливу складу модифікованого дрібнозернистого бетону на коефіцієнт технологічної пошкодженості бетону $K_{пS}$ оцінювалась зміна цього показника $\Delta K_{пS}$ під впливом 50 циклів заморожування та відтаювання (проводилося 5 циклів по прискореному методу у солоній воді при заморожуванні до -50°C на установці "Frigeга"). Модель, яка описує вплив факторів складу на величину $\Delta K_{пS}$ має вид ($S_e=0.017 \text{ см/см}^2$):

$$\begin{aligned} \Delta K_{пS} (\text{см/см}^2) = & 0.623 - 0.015x_1 & \bullet & & \bullet & & \bullet & & \bullet \\ & + 0.008x_2 & + 0.025x_2^2 & & & \bullet & & + 0.009x_2x_4 \\ & - 0.024x_3 & & & & & & + 0.013x_3x_4 \\ & + 0.096x_4 & - 0.043x_4^2 & & & & & \end{aligned} \quad (2)$$

Поле моделі (2) має максимум $\Delta K_{пS, \max} = 0.744 \text{ см/см}^2$ (при $x_1 = x_3 = -1, x_2 = x_4 = 1$) та мінімум $\Delta K_{пS, \min} = 0.432 \text{ см/см}^2$ (при $x_1 = x_3 = 1, x_2 = 0.03, x_4 = -1$). Тобто під дією заморожування та відтаювання менше всього змінилася пошкодженість композитів з максимальним дозуванням цементу та Пенетрону Admix, дозуванням С-3 близько 0.8% та без рідкого скла.

Аналіз моделі дозволяє сказати, що найбільш істотно підвищилась пошкодженість композитів з рідким склом, що пояснюється високим В/Ц рівнорухомих сумішей з цим модифікатором. На рис.3.а показана діаграма, яка відображає вплив факторів складу на $\Delta K_{пS, \min}$ і побудована по моделі (2) аналогічно діаграмі на рис.1 (при $x_4 = -1$, композити без рідкого скла). На рисунку видно, що у складів з підвищеним дозуванням цементу під дією заморожування та відтаювання технологічної пошкодженості $K_{пS}$ змінилася в меншій мірі, ніж у складів з мінімальним дозуванням цементу. Оптимальним є вміст добавки С-3 близько 0.8% (як і для багатьох інших досліджених показників якості [4,5]).

Проте найбільш важливим висновком є те, що під вією морозу найменш змінилася технологічна пошкодженість бетонів, модифікованих Пенетроном Admix. Це можна пояснити специфічною дією складових добавки, які кольматують пори та капіляри у бетоні.

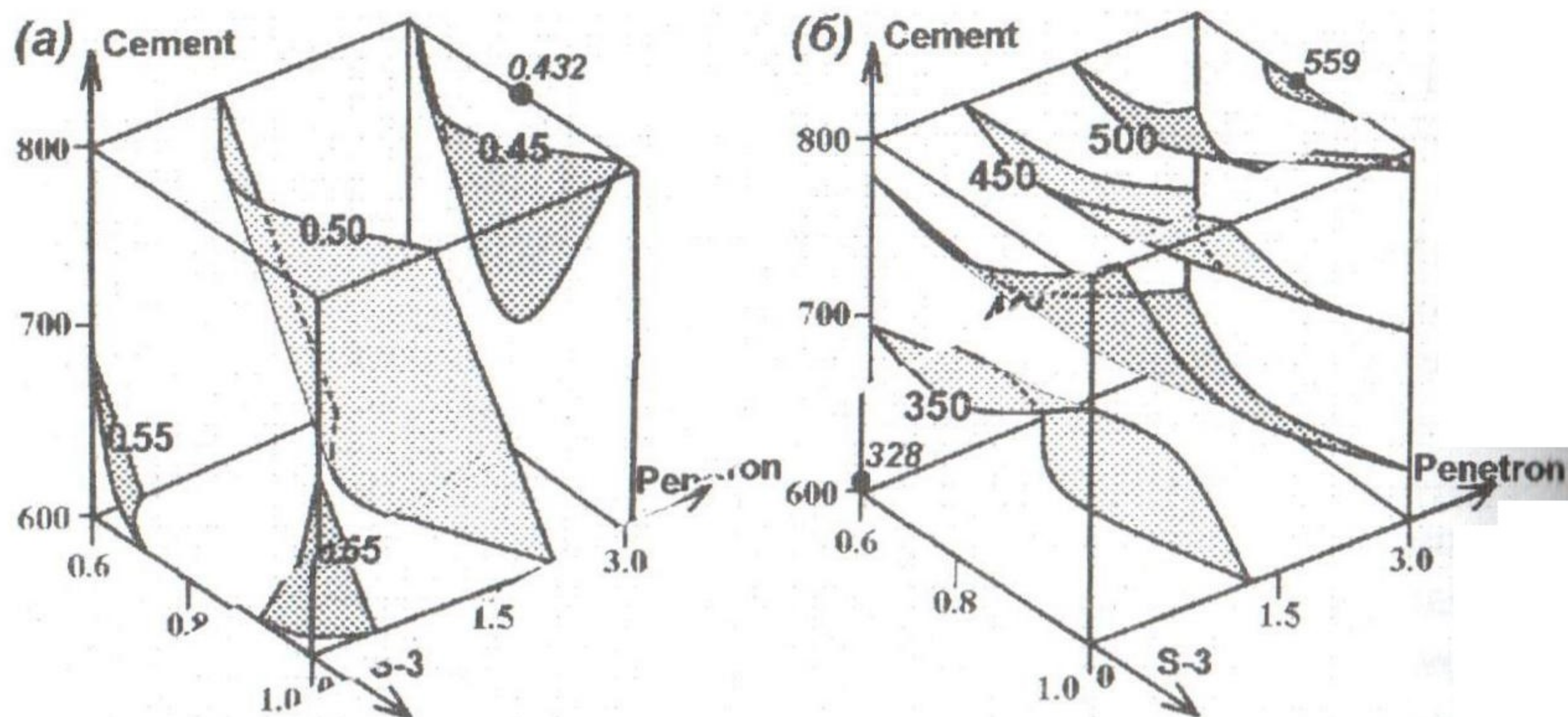


Рис.3. Вплив факторів складу модифікованого бетону на
 а - зміну технологічної пошкодженості під дією заморозування та
 відтаювання ΔK_{ns} (см/см²);
 б - морозостійкість F (цикли).

Також слід відмітити, що коефіцієнт кореляції між рівнем ΔK_{ns} та морозостійкістю бетону F дорівнює -0.856 , що дозволяє сказати про зв'язок даних показників з ризиком не більш 1%. Тобто зразки, у яких в меншій мірі змінилася технологічна пошкодженість показують більшу морозостійкість. На рис.3.6 показана діаграма, яка відображає вплив факторів на морозостійкість бетону F (при $x_4 = -1$), побудована по моделі, аналогічній (1) та (2). Можна побачити, що вплив факторів на рівень F має дзеркальну схему з їх впливом на ΔK_{ns} .

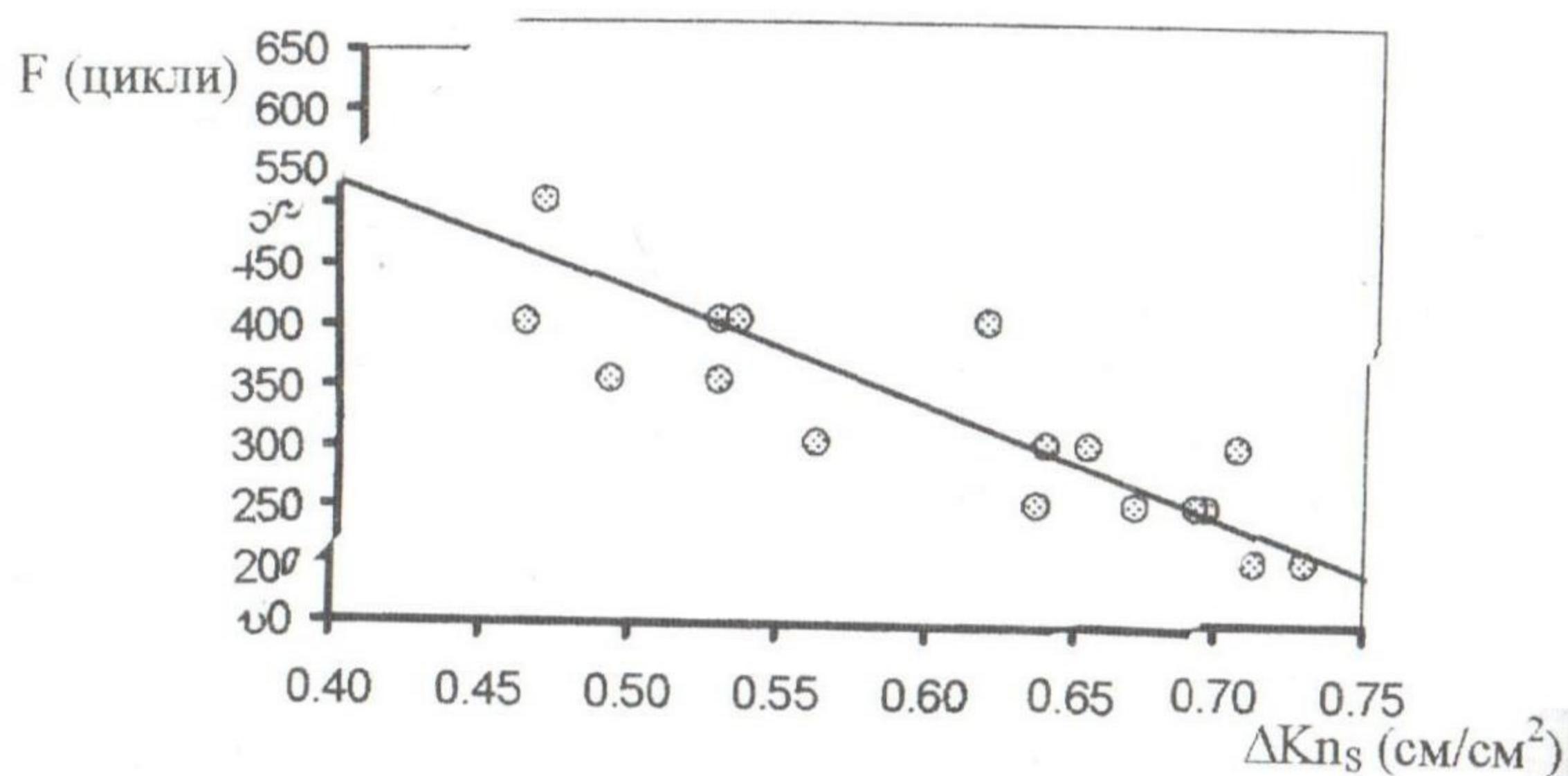


рис.4. Взаємозв'язок між рівням ΔK_{ns} та морозостійкості F.

На рис.4 показана діаграма, яка відображає взаємозв'язок між рівням $\Delta K_{пс}$ та морозостійкості F у 18 експериментальних точках.

Рівняння, яке дозволяє оцінити морозостійкість композиту по рівню зміни технологічної пошкодженості $\Delta K_{пс}$ під дією морозу в нашому випадку має вигляд $F(\text{цикли}) = 891 - 933 \Delta K_{пс}$. Пряма, побудована по даній лінії тренду показана на рис.4.

Таким чином, можна оцінювати зміну технологічної пошкодженості при заморожуванні та відтаюванні з метою прогнозування та експрес оцінки морозостійкості бетону.

Література.

1. Комплексные задачи и решения по диагностике бетонных и железобетонных конструкций объектов гидромелиоративного назначения / А.А. Романов, А.В. Мишутин, Б.М. Усаченко, В.Н. Сергиенко // Геотехнічна механіка: Міжвідомча збірка наукових праць. Вип. 51. – Дніпропетровськ, 2004 – С. 127- 134.
2. Мишутин А.В. Романов А.А. Повышение долговечности бетонов мелиоративных сооружений – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 14 - Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2004. – С. 170-172.
3. Выполнить геофизические исследования гидротехнического тоннеля (2 трубы) канала «Днепр-Ингулец»: Отчет о НИР/НИП Технополис "Экоиндустрия"; Руководитель Б.Усаченко, 2002. - 83 с.
4. Мішутін А.В., Кровяков С.О., Романов О.А. Вплив комплексних добавок на водонепроникнення дрібнозернистих бетонів – Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Випуск 20 - Одеса: Місто майстрів, 2005. – С. 273-278.
5. Мішутін А.В., Кровяков С.О., Романов О.А. Вплив комплексної добавки суперпластифікатор С-3 + Пенетрон на властивості дрібнозернистого бетону // Дороги і мости. Випуск 6: Збірка наукових статей – Київ, 2006. – С. 257-266.
6. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. – К.: Вища школа, 1989. – 327 с.
7. Ляшенко Т.В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении // Вісник Одес. ДАБА. – Одеса, Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171-179.
8. Дорофеев В.С., Выровой В.Н. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций. – Одесса: Город мастеров, 1998. – 168 с.
9. Композиционные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.С. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будивельник, 1991. – 144 с.