

УДК 666.972

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНИХ ДОБАВОК НА ВОДОНЕПРОНИКНЕННЯ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ

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

Досліджені властивості бетонів з добавками С-3, Penetron Slurry-Admix та рідким склом. Показано позитивний вплив добавки Penetron на водонепроникнення матеріалу.

До бетонів для конструкцій плавучих доків, обгороджуваних стінок каналів та резервуарів пред'являються високі вимоги до водонепроникнення матеріалу [1]. Покращувати цей показник якості лише за рахунок підвищення щільності не завжди можливо, тому що для цього треба істотно знижувати В/Ц та жертвувати рухомістю суміші.

В закордонній та вітчизняній практиці в останній час для вирішення цієї проблеми використовуються спеціальні добавки, які значно підвищують водонепроникнення бетону за рахунок кольматації пор. Однією з таких спеціалізованих добавок є Penetron Slurry-AdmixTM, яка, як заявляється виробником, вступає в реакцію з мінералами цементу, формуючи нерозчинні кристалічні комплекси, що заповнюють тріщини, пори та пустоти.

Натурний експеримент проводився по оптимальному 18-ти точковому плану. Варіювалися чотири фактори складу дрібнозернистого бетону: X_1 – дозування сульфатостійкого цементу (Cement) – 600 до 800 кг/м³, X_2 – дозування суперпластифікатора С-3 (S-3) – від 0.6 до 1% від маси цементу, X_3 – дозування добавки Penetron Slurry-Admix (Penetron) – від 0 до 3% від маси цементу, X_4 – дозування рідкого скла (glass) – від 0 до 4% від маси цементу.

Такі фактори були обрані для вивчення впливу на водонепроникнення бетону добавок системи Penetron разом з відомими факторами – міцності та щільності, які визначає Ц/В суміші, та введенням у склад рідкого скла. Нормалізація факторів виконано по стандартній формулі [2]. Використовувався сульфатостійкий цемент Амвросіївського заводу марки 400, пісок Микитівського кар'єру (Миколаївська область) з модулем крупності 2.5, митий, рідке скло натрієве, щільністю 1.4 г/см³.

Всі суміші мали рівну легкоукладальність (від 8 до 10 см по penetрації стандартного конусу). Тобто водопотреба залежала від складу і по результатах її визначення побудовано експериментально-статистичну модель (ЕС-модель) впливу чотирьох факторів на Ц/В співвідношення, яке є основним структуроутворюючим фактором в бетоні ($S_e=0.06$):

$$\begin{aligned} \text{Ц/В} = & 2.38 + 0.27x_1 + 0.04x_2 - 0.13x_3 - 0.39x_4 + 0.05x_4^2 - 0.03x_2x_4 \end{aligned} \quad (1)$$

Поле цієї моделі має максимум $\text{Ц/В}_{\max} = 3.31$ (при $x_1 = x_2 = 1, x_3 = x_4 = -1$) та мінімум $\text{Ц/В}_{\min} = 1.62$ (при $x_1 = x_2 = -1, x_3 = x_4 = 1$). Тобто максимальний рівень Ц/В мають композити з максимальною кількістю цементу та пластифікатору та без добавки Penetron Slurry-Admix та рідкого скла. Однофакторні криві, побудовані по моделі 1, які відображають вплив факторів у точках максимуму та мінімуму Ц/В, показано на рис. 1.

Аналіз діаграм, дозволяє зробити наступні висновки:

- збільшення дозування цементу підвищує Ц/В незалежно від дозування інших компонентів, що природно;
- збільшення дозування суперпластифікатору С-3 підвищує Ц/В, але не істотно. Це можна пояснити тим, що завдяки використанню крупного піску ($M_k=2.5$) та великого вмісту цементу в бетоні (від 600 до 800 кг/м^3) вже при дозуванні добавки 0.6% від маси цементу більшість поверхні заповнювача пластифікована;

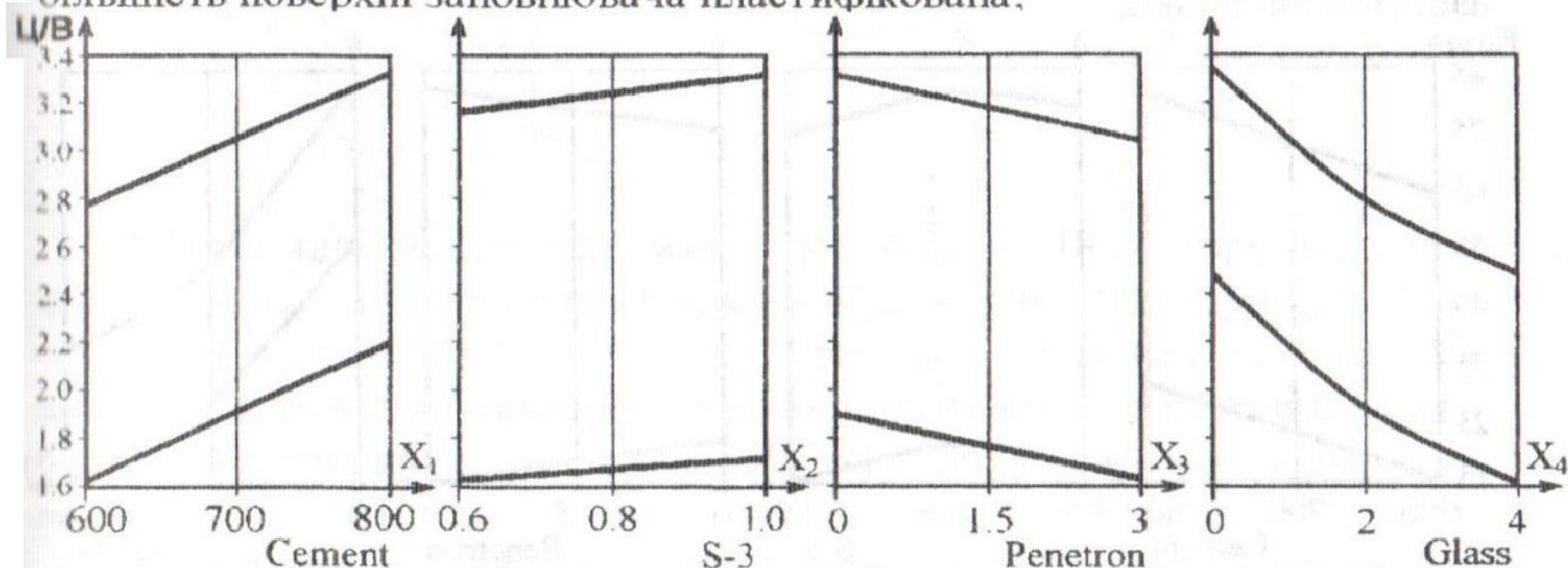


Рис. 1. Вплив факторів складу на Ц/В суміші рівної легкоукладальності в точках максимуму та мінімуму.

- введення добавки Penetron Slurry-Admix знижує Ц/В незалежно від рівнів інших факторів. Це можна пояснити додатковою водопотребою цієї добавки;

- введення в суміш рідкого скла суттєво знижує Ц/В за рахунок додаткової водопотреби. При чому можна зазначити, що ранг цього фактору найбільший як в зоні мінімуму, так і у зоні максимуму, тобто цей фактор оказує найбільш суттєвий вплив на Ц/В в порівнянні з іншими факторами складу.

Досліджувався вплив факторів складу на міцність дрібнозернистих бетонів у водонасиченому стані. Випробувалися зразки половинки балочок 4×4×16 см у віці 80 діб, які експонувалися 7 останніх діб у воді. По результатах одержано ЕС-модель ($S_e=2$ МПа):

$$R_{c.w} \text{ (МПа)} = 46.69 + 6.48x_1 + 0.84x_1x_3 - 1.09x_1x_4 - 2.54x_2 - 5.16x_2^2 + 0.83x_2x_3 - 2.36x_3x_4 - 19.30x_4 + 3.11x_4^2 \quad (2)$$

Поле цієї моделі має максимум $R_{c.w.max} = 80.42$ МПа (при $x_1 = 1$, $x_2 = -0.33$, $x_3 = 1$, $x_4 = -1$) та мінімум $R_{c.w.min} = 15.04$ МПа (при $x_1 = -1$, $x_2 = x_3 = x_4 = 1$). Тобто композит показує максимальну міцність на стиск при максимальному дозуванні цементу і Penetron Slurry-Admix, середньому (близько 0.75%) дозуванні С-3, та без рідкого скла.

Однофакторні криві, побудовані по моделі 2, які відображають вплив факторів у точках максимальної та мінімальної міцності, показано на рис.2. Аналіз цих кривих та моделі дозволяє зробити наступні висновки:

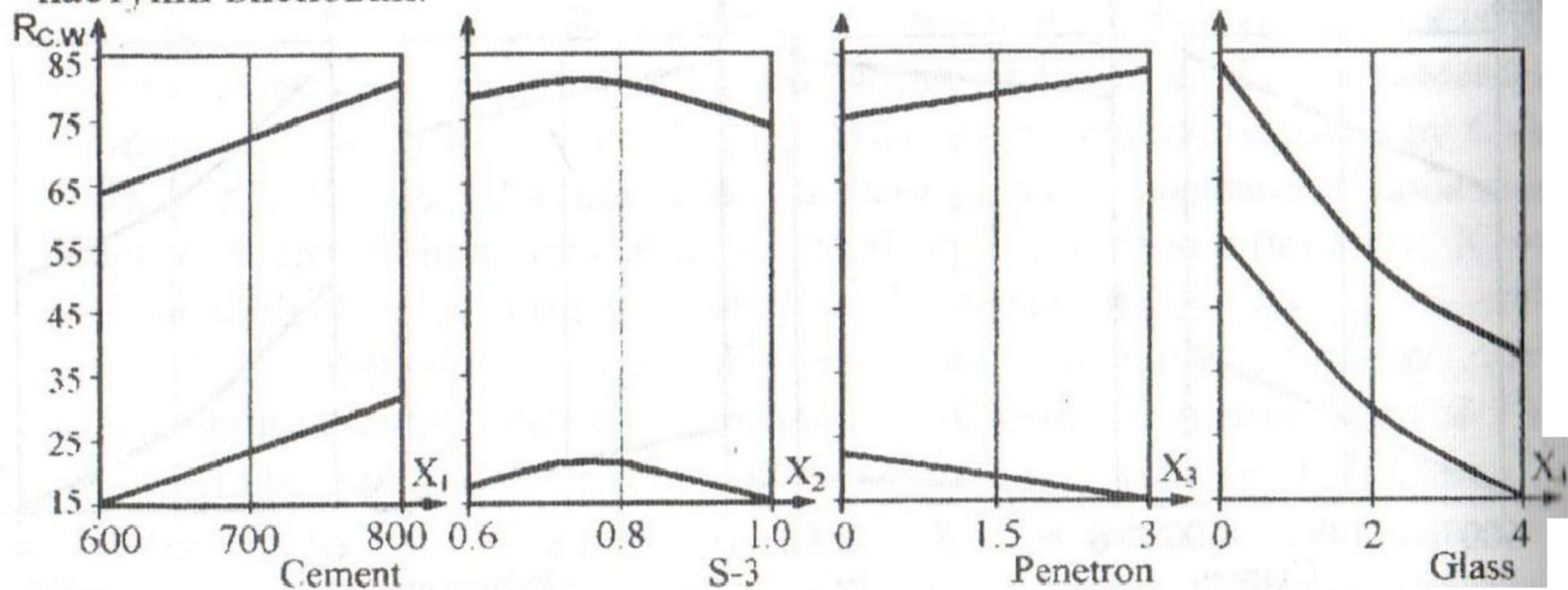


Рис.2. Вплив факторів складу на міцність при стиску в водонасиченому стані в точках максимуму та мінімуму.

- найбільш всього впливає на міцність при стиску дозування рідкого скла. Це пояснюється тим, що введення у склад суміші рівної убодоукладальності цього модифікатору різко підвищує водопотребу, чим знижує Ц/В;

- збільшення дозування цементу, природно, підвищує міцність бетону, а зміна дозування суперпластифікатора з 0.6 до 0.75-0.8% підвищують міцність, проте подальше підвищення дозування сканується вже негативно. Справедливо буде сказати про незначний вплив цього фактору в порівнянні з іншими;

- введення до складу композиту добавки Penetron Slurry-Admix теж неістотно змінює міцність, але може як підвищувати її в зоні максимуму, тобто у композитах без рідкого скла, так і знижувати в зоні мінімуму.

Слід відмітити, що коефіцієнт кореляції між Ц/В та $R_{c,w}$ в натурному експерименті дорівнює 0.911. Тобто фактори складу в значній мірі впливають на міцність через різну водопотребу суміші. Проте слід зазначити, наприклад, дію добавки Penetron Slurry-Admix на Ц/В у складах без рідкого скла – незважаючи на зниження Ц/В за рахунок введення Penetron міцність композитів декілька підвищується.

Головною ж метою введення в склад бетону добавки Penetron Slurry-Admix є підвищення водонепроникнення. В натурному експерименті досліджувався рівень водонепроникнення бетону по рівню повітряпроникнення. Хоча ДБН передбачає лише класи W2, W4 і так далі, для аналізу використовувались і проміжні значення. Таким чином, для рівня W одержано адекватну ЕС-модель ($S_e=0.8$):

$$W = 7.48 + 1.32x_1 - 1.81x_1^2 + 0.89x_1x_3 - 1.05x_1x_3 - 0.52x_2 - 1.43x_2^2 + 0.44x_2x_3 + 1.77x_3 - 2.23x_3x_4 - 3.21x_4 + 2.05x_4^2 \quad (3)$$

Поле цієї моделі має максимум $W_{max} = 18.21$ (при $x_1 = 0.9$, $x_2 = -0.03$, $x_3 = 1$, $x_4 = -1$) та мінімум $W_{min} = 1.08$ МПа (при $x_1 = -1$, $x_2 = 1$, $x_3 = -1$, $x_4 = -0.02$). Однофакторні криві, які побудовані по моделі 3 і відображають вплив факторів у точках максимального та мінімального водонепроникнення, показано на рис.3. Їх аналіз дозволяє відмитими наступне:

- введення у склад добавки Penetron Slurry-Admix підвищують рівень водонепроникнення бетону у 2 рази та більше. Це свідчить про позитивну дію цього модифікатору на структуру бетону за рахунок

кальматації пор. Слід відмітити, що цей ефект відбувається незважаючи на зниження Ц/В суміші при введенні модифікатора;

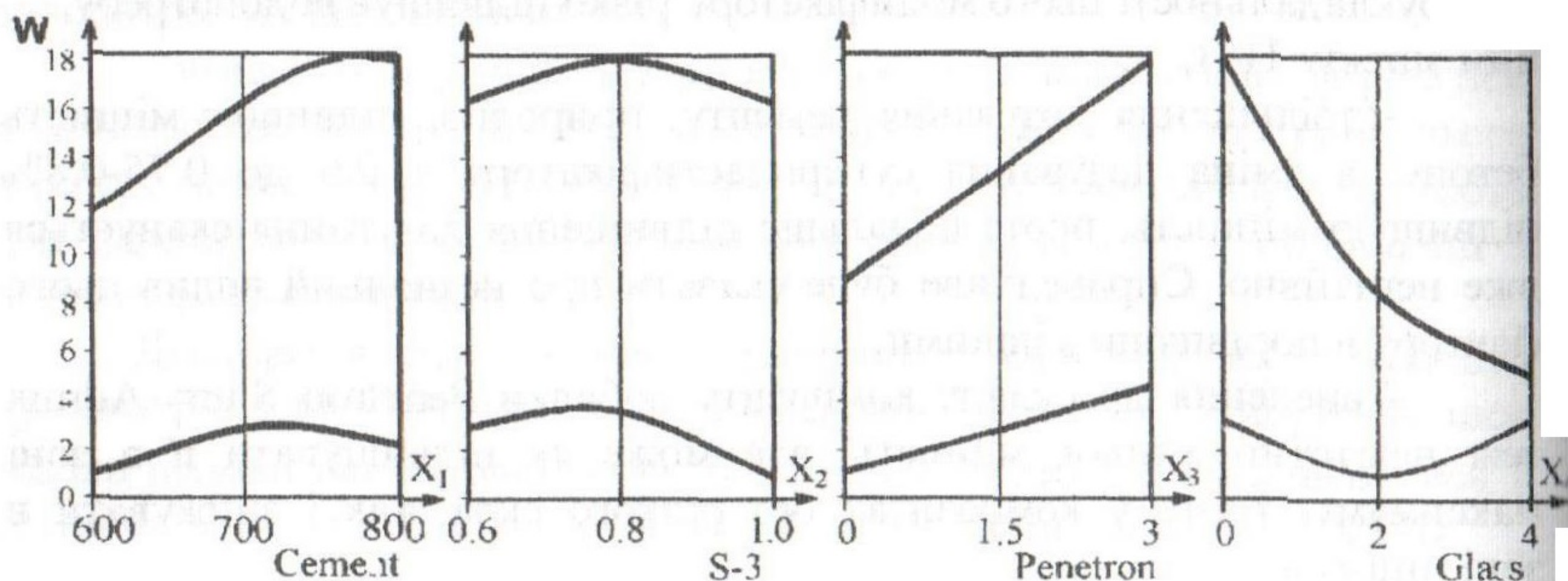


Рис.3. Вплив факторів складу на водонепроникнення бетону в точках максимуму та мінімуму.

- збільшення дозування цементу підвищує водонепроникнення композиту, при чому вплив цього фактору більш відчутний в зоні максимальних значень, тобто у складах з Penetron і без рідкого скла;

- зміна дозування суперпластифікатора С-3 в межах експерименту майже не змінює водонепроникнення, але при введенні більше 0.8% може впливати негативно;

- введення в склад бетону, модифікованого добавкою Penetron Slurry-Admix, рідкого скла різко знижує водонепроникнення, але не істотно впливає на водонепроникнення матеріалу в зоні мінімум, тобто в складах з дозуванням цементу близько 600 кг/м³ та без Penetron.

Таким чином, добавка Penetron Slurry-Admix не оказує значного впливу на міцність композиту рівною удобоукладності, але для складів без рідкого скла вона може навіть декілька підвищувати міцність. Оптимальною для досліджених показників якості є дозування суперпластифікатора С-3 близько 0.8% від маси цементу. Введення у склад рідкого скла не дало значного ефекту через збільшення водопотреби сумішей, і, як наслідок, різкого зниження Ц/В. Введення у склад добавки Penetron Slurry-Admix різко підвищує рівень водонепроникнення композиту, що дозволяє рекомендувати її при виготовленні широкого спектру бетонів з високими вимогами до цього показника якості.

Література.

1. Мишутин А.В., Мишутин Н.В. Повышение долговечности бетонов тонкостенных плавучих и портовых гидротехнических сооружений – Одесса: Одесский центр научно-технической и экономической информации, 2003 – 192 с.
2. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ - К.: Вища школа, 1989.-328 с