

**Мішутін А.В., Кровяков С.О.,
Романов О.А.**

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ ДОБАВКИ СУПЕРПЛАСТИФІКАТОР С-3 + ПЕНЕТРОН НА ВЛАСТИВОСТІ ДРІБНОЗЕРНИСТОГО БЕТОНУ

Якісний захист від корозії залізобетонних конструкцій в значній мірі забезпечує довговічність споруд автодорожнього комплексу. Крім того, значна частина автодорожніх споруд експлуатується вже десятки років і потребує ремонту чи відновлення. Причому, справедливо буде сказати, що одною з найпоширеніших причин руйнування є проникнення води до бетону конструкцій.

В будівельній практиці в останні роки добре зарекомендували себе спеціальні добавки, які підвищують водонепроникнення бетону за рахунок кольматації пор. Однією з найпоширеніших в закордонній практиці є система матеріалів для гідроізоляції бетонних конструкцій Пенетрон, яка зараз починає використовуватися і в Україні. Застосування цієї системи в дрібнозернистому бетоні, модифікованому суперпластифікатором, дає можливість одержати високоякісний матеріал [1].

Експеримент проводився по оптимальному 18-ти точковому плану. Варіювалися чотири фактори складу дрібнозернистого бетону:

X_1 - дозування сульфатостійкого цементу Амвросіївського заводу марки 400 (Cement) - від 600 до 800 кг/м³;

X_2 - дозування суперпластифікатору С-3 (S-3) - від 0.6 до 1% від маси цементу;

X_3 - дозування добавки Пенетрон Slurry-Admix™ (Penetron) - від 0 до 3% від маси цементу. Пенетрон Slurry-Admix - суха суміш, яка складається із спеціального цементу, кварцового піску певної гранулометрії і активних хімічних добавок;

X_4 - дозування натрієвого рідкого скла (glass) - від 0 до 4% від маси цементу.

Використовувався митий пісок Нікітивського кар'єру з модулем крупності 2.8.

Такі фактори були обрані для вивчення впливу на водонепроникнення та інші показники якості бетону добавок системи Пенетрон разом з відомими факторами - міцності та щільності, які визначає Ц/В суміші та введенням у склад рідкого скла. Добавка Пенетрон Slurry Admix вступає в реакцію з мінералами цементу, формуючи нерозчинні кристалічні комплекси, що заповнюють тріщини та пори. Нормалізація факторів виконано по стандартній формулі [2].

Всі суміші мали рівну легкоукладальність (від 8 до 10 см по пенетрації 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 ($S_c=0.06$):

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

Поле цієї моделі має максимум $\text{Ц/В}_{\max} = 3.307$ (при $x_1 = x_2 = 1$, $x_3 = x_4 = -1$) та мінімум $\text{Ц/В}_{\min} = 1.624$ (при $x_1 = x_2 = -1$, $x_3 = x_4 = 1$). Тобто максимальний рівень Ц/В та відповідно найщільнішу структуру мають композити з максимальним дозуванням цементу і пластифікатору та без Пенетрону і рідкого скла.

Аналіз цієї моделі дозволяє сказати, що за рахунок додаткової водопотреби найбільш суттєво знижується Ц/В суміші рівної легкоукладальності при введенні рідкого скла. Зниження Ц/В, в свою чергу, погіршує всі основні показники якості матеріалу. Тому в подальшому аналізі розглядаються композити без рідкого скла, тобто поле складів з зафіксованим значенням фактору $x_4 = -1$. Діаграма в вигляді куба, побудована по моделі (1), яка відображає вплив інших трьох факторів складу на Ц/В суміші, показана на рис. 1.

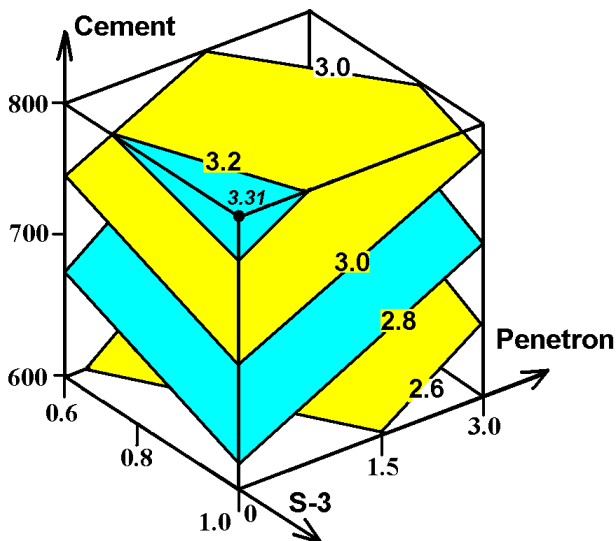


Рисунок 1 - Вплив факторів складу бетону на Ц/В суміші рівної легкоукладальності

Як можна побачити з рисунку, зі зростанням дозувань цементу та суперпластифікатору природно підвищується Ц/В суміші. Проте введення в склад суміші Пенетрону Slurry Admixture знижує Ц/В за рахунок додаткової водопотреби цієї добавки.

У натурному експерименті досліджувались механічні властивості матеріалу в віці 180 діб. При чому були одержані данні про міцність матеріалу як в водонасиченому (при довгому вільному водонасиченні), так і в сухому (висушеному до постійної маси при температурі $105 \pm 2^\circ\text{C}$) стані. Всі зразки перші 120 діб зберігалися у стандартних умовах (20° при 100% вологості), потім 60 діб у воді.

Для міцності при стиску в водонасиченому стані одержано адекватну ЕС-модель ($S_e=2$ МПа):

$$\begin{aligned}
 R_{c,w} \text{ (МПа)} = & 50.79 + 7.06x_1 \quad \bullet \quad - 1.90x_1x_2 \quad \bullet \quad \bullet \\
 & - 2.04x_2 \quad - 4.01x_2^2 \quad \bullet \quad \bullet \\
 & \bullet \quad - 2.07x_3^2 \quad \bullet \quad - 1.10x_3x_4 \\
 & - 20.22x_4 + 3.93x_4^2 \quad \bullet \quad \bullet \quad (2)
 \end{aligned}$$

Поле цієї моделі має максимум $R_{c.w.max} = 83.1$ МПа (при $x_1 = 1$, $x_2 = -0.49$, $x_3 = 0.27$, $x_4 = -1$) та мінімум $R_{c.w.min} = 20.1$ МПа (при $x_1 = -1$, $x_2 = x_3 = x_4 = 1$).

Діаграма у вигляді кубу, яка відображає вплив факторів складу на міцність при стиску в водонасиченому стані, побудована по моделі (2) аналогічно показаній на рис. 1 (рівень фактору $x_4 = -1$), показана на рис. 2.

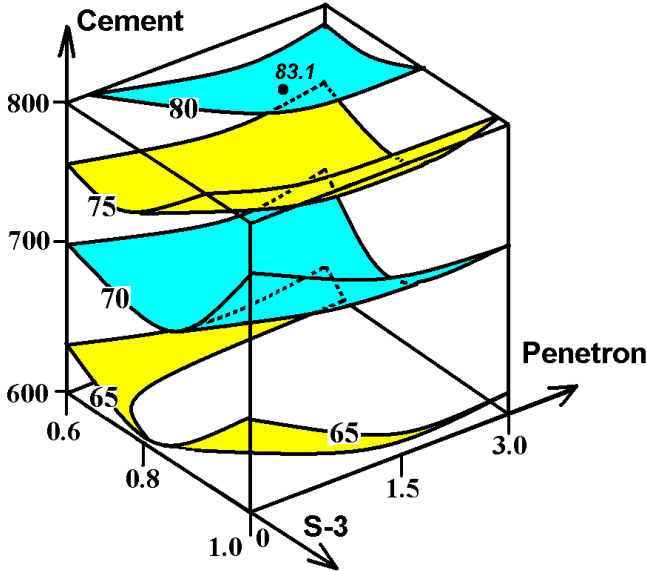


Рисунок 2 - Вплив факторів складу на міцність при стиску в водонасиченому стані

Як можна побачити на рисунку, найбільш суттєвий вплив на міцність композиту оказує дозування цементу. Оптимальним для величини міцності є введення у склад дрібнозернистого бетону близько 0.8% суперпластифікатора С-3. Причому при підвищенні дозування цементу оптимум для цього фактору поступово зменшується (з 0.83-0.84% при 600 кг цементу на m^3 до 0.76-0.77% при 800 кг цементу на m^3), що пояснюється зростання абсолютної кількості добавки в бетоні. Відсутність ефекту від зростання дозування С-3 до 1% можна пояснити тим, що використовувався крупний пісок ($M_k=2.8$) та вміст цементу у композиті складав

до 800 кг/м^3 , тобто вже при кількості добавки біля 0.8% більшість поверхні заповнювача пластифікована.

Введення же до складу дрібнозернистого бетону Пенетрону Slurry Admix теж підвищує міцність, незважаючи на зниження при цьому Ц/В суміші. Це можна пояснити тим, що ця добавка складається частково із спеціального цементу. Максимальну міцність при стиску в водонасиченому стані мали композити з вмістом Slurry Admix близько 2% від маси цементу.

Аналіз впливу факторів складу дрібнозернистого бетону на його міцність при стиску та розтягуванні при згині як в водонасиченому, так і у сухому стані показав, що для всіх цих показників оптимальним являється дозування добавки С-3 близько 0.8% від маси цементу. Тому в подальшому розглядається вплив кількості цементу та Пенетрону Slurry Admix при зафіксованих значеннях добавки С-3 ($x_2=0$) та рідкого скла ($x_4=-1$). На рис. 3 показані побудовані таким чином діаграми для міцності при стиску (а) та розтягуванні при згині (б) в водонасиченому стані.

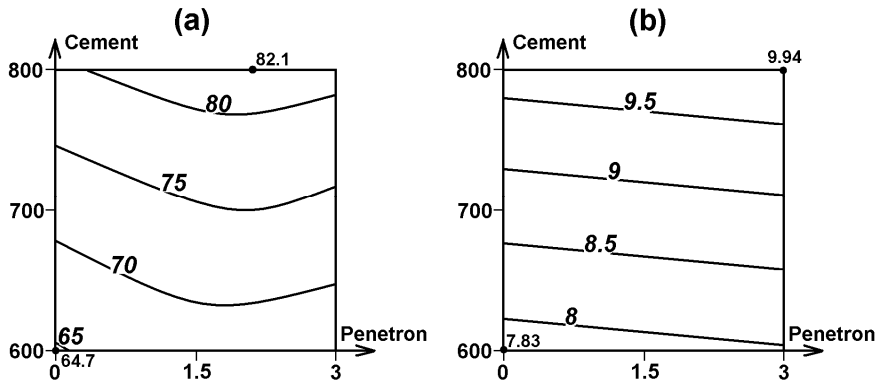


Рисунок 3 - Вплив дозування цементу та Пенетрону на міцність при стиску (а) та розтягуванні при згині (б) в водонасиченому стані

Як можна побачити з діаграм, введення до складу бетону Пенетрону Slurry Admix позитивно впливає на міцність композиту в водонасиченому стані, хоч ранг цього впливу незначний. Але основна роль цієї добавки, як зазначалося вище, в підвищенні водонепроникнення бетону.

По моделях, аналогічним (2), побудовані діаграми для міцність при стиску та розтягуванні при згині в сухому стані, які показані на рис.4 (рівні зафіксованих факторів аналогічні рис.3: $x_2=0, x_4=-1$).

Аналіз діаграм дозволяє зробити висновки, що і для бетону, якій знаходяться у сухому стані, введення до складу Пенетрону Slurry Admix позитивно впливає на міцність. Причому рівень та характер цього впливу майже співпадає з впливом для водонасиченого бетону.

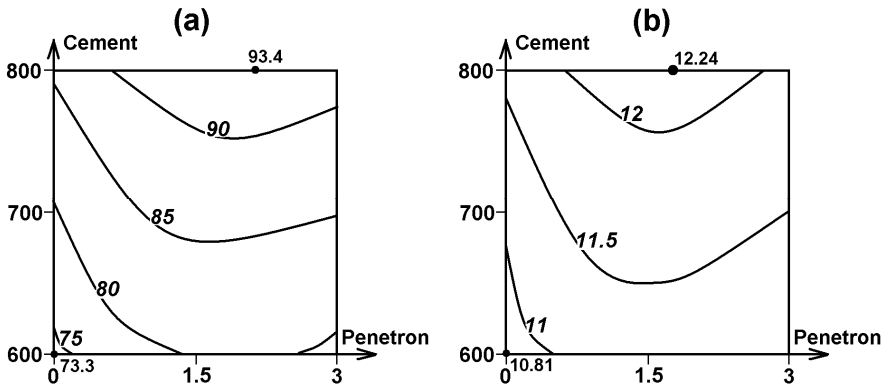


Рисунок 4 - Вплив дозування цементу та Пенетрону на міцність при стиску (а) та розтягуванні при згині (b) в сухому стані

Однією з основних цілей експерименту було дослідження рівня водонепроникнення бетону, модифікованого комплексною добавками Пенетрону Slurry Admix + С-3 (показник визначався приладом Агама-2). Хоча ДБН передбачають лише класи W2, W4 і так далі, для аналізу використовувались і проміжні значення. Таким чином, для рівня W одержано адекватну ЕС-модель ($S_e=0.8$ МПа):

$$\begin{aligned}
 W \text{ (МПа)} = & 7.48 + 1.32x_1 - 1.81x_1^2 + 0.89x_1x_3 - 1.05x_1x_3 \\
 & - 0.52x_2 - 1.43x_2^2 + 0.44x_2x_3 + \\
 & + 1.77x_3 - 2.23x_3x_4 \\
 & - 3.21x_4 + 2.05x_4^2 \quad (3)
 \end{aligned}$$

Поле цієї моделі має максимум $W_{\max} = 18.21$ МПа (при $x_1 = 0.9$, $x_2 = -0.03$, $x_3 = 1$, $x_4 = -1$) та мінімум $W_{\min} = 1.08$ МПа (при $x_1 = -1$, $x_2 = 1$, $x_3 = -1$, $x_4 = -0.02$).

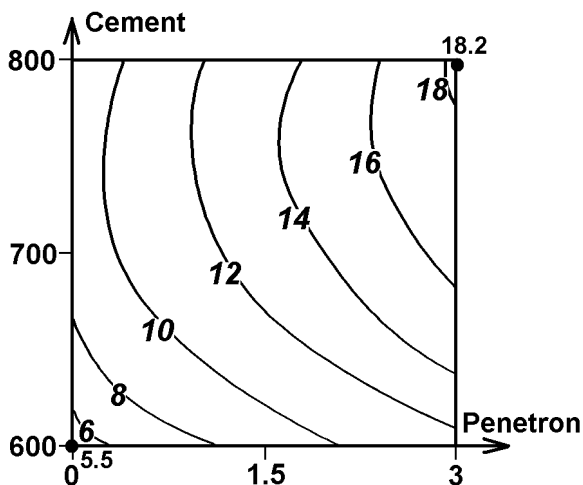


Рисунок 5 - Вплив дозування цементу та Пенетрону на водонепроникнення бетону (МПа)

Аналіз цієї моделі дозволяє сказати, що як і для більшості проаналізованих показників, оптимальним є дозування добавки С-3 близько 0.8% ($x_2=0$). По моделі (3) побудована діаграма, яка показана на рис.5 (рівні зафіксованих факторів аналогічні рис. 3 та 4: $x_2=0$, $x_4=-1$ і забезпечують максимальне W).

Як можна побачити з діаграми, за рахунок введення Пенетрону Slurry Admix в склад дрібнозернистого бетону можна збільшити його водонепроникнення майже в 2 рази: з 6 до 11..12 МПа для композитів з 600 кг цементу на m^3 та 9..10 до 18 МПа для композитів з 800 кг цементу на m^3 . Таким чином Slurry Admix є дуже ефективною добавкою для підвищення довговічності матеріалу, який експлуатується вводити та вологих умовах. Причому її ефективність можна підвищити за рахунок введення оптимальної кількості суперпластифікатору.

З метою порівняти, як збігається зміна водонепроникнення бетону при модифікації добавками зі зміною пористості, яка для „традиційних” бетонів в основному і визначає цей показник якості, досліджувалась величина відкритої пористості матеріалу

(по величині максимального водопоглинання). По моделі, що описує вплив факторів складу на відкриту пористість матеріалу (% по об'єму) побудована діаграма, яка показана на рис.6 (рівні зафіксованих факторів аналогічні рис.3-5: $x_2=0$, $x_4=-1$).

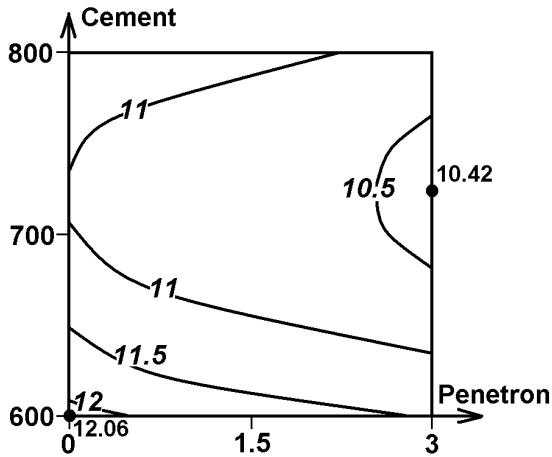


Рисунок 6 - Вплив дозування цементу та Пенетрону на пористість бетону (% по об'єму)

Як можна побачити в діаграмі, добавка Slurry Admix знижує відкриту пористість матеріалу, але не більше ніж на 6-7%. Таким чином можна зробити припущення, що дія добавки складається не лише в заповнюванні тріщини та пор, а в перерозподілі форми пор та „лікуванні” магістральних тріщин.

Для всіх композитів також була досліджена морозостійкість по прискореному методу при температурі -50°C на установці “Frigera” згідно ДСТУ Б В.2.7-49-96. Встановлено, що зразки з Ц/В ≥ 2.5 мають морозостійкість на рівні 300 циклів у морській воді. Це дозволяє рекомендувати використання цього матеріалу в конструкціях, які при експлуатації мають контакт з соленою водою. В тому числі у дорожніх спорудах, де в зимових умовах можлива посипка полотна сіллю.

Слід відмітити, що система гідроізоляційних матеріалів Пенетрон включає цілий комплекс гідроізолюючих сумішей для обробки поверхонь готових бетонних конструкцій. Найбільш широко використовується Пенетрон Slurry - матеріал для

гідроізоляції поверхонь, що мають пори та тріщини з шириною розкриття до 0.4 мм. Для гідроізоляції поверхонь, що мають пори та тріщини з шириною розкриття більше 0.4 мм, для гідроізоляції швів, стиків, сполучень, примикань, введень комунікацій застосовують «Пенекріт» в поєднанні з Пенетрон Slurry. Вживання покриття дозволяє захистити бетон від дії агресивних середовищ: кислот, стічних і ґрунтових вод, морської води. Бетон, оброблений Пенетроном Slurry, придбаває стійкість до дії карбонатів, хлоридів, сульфатів, нітратів та ін.

В нашому експерименті крім модифікації складу композиту, досліджувалась зміна водонепроникнення бетону при обробці його поверхні спеціальною гідроізолюючою сумішшю Пенетрон Slurry. Обробка поверхні зразків проводилась в віці 60 діб. Зразки змачувалися і на одну з їх поверхонь у 2 шари кістю наносився склад і вигляді рідкого водного розчину (3 частки сухого Slurry на 2 частки води).

Експериментальні данні показали, що зразки, покриті гідроізолюючою сумішшю Пенетрон Slurry, мають водонепроникнення ні менш W16. В тому числі для композитів, до складу яких не входив Пенетрону Slurry Admix і які без покриття мали водонепроникнення на рівні W4. Тобто використання цього матеріалу дуже ефективно для гідроізоляції бетонних та залізобетонних конструкцій. Але слід відмітити, що при додатковому використанні бетону, модифікованого Slurry Admix, буде забезпечено гідроізоляція в випадку порушення покриття.

Висновки

В цілому, можна рекомендувати вводити у склад бетонів для споруд автотодорожного комплексу, які експлуатуються у агресивних та вологих умовах, комплексну добавку Перентрон Slurry Admix плюс С-3. Використання цієї комплексної добавки підвищує рівень водонепроникнення матеріалу у 2 рази та більше (по зрівнянню в не модифікованим композитом).

Модифіковані бетони мають високу міцність як в сухих, так і у вологих умовах експлуатації та морозостійкість у морській воді на рівні 300 циклів. Також важливо відмітити, що склади з комплексною добавкою мають достатній рівень адгезії

до „старого” бетону - не менш 1.5 МПа, що дозволяє рекомендувати їх для ремонту та відновлення конструкцій.

Для підвищення стійкості в агресивних умовах існуючих бетонних конструкцій можна рекомендувати покривати їх поверхні гідроізолюючим складом Пенетрон Slurry. Це дозволяє підвищити рівень водонепроникнення матеріалу до W16 і більше. Але відновлення та ремонт бетонних та залізобетонних конструкцій споруд автодорожнього комплексу з метою підвищення їх водонепроникнення необхідно вести з урахуванням ширини розкриття тріщин.

Література

1. Мішугін 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.

2. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ - К.: Вища школа, 1989.-328 с.