

## БЕТОНИ ДЛЯ РЕМОНТУ КОМПОЗИТНИХ ДОКІВ ТА ІНШИХ ПЛАВУЧИХ СПОРУД

Шишкін О. О.

### ВСТУП

Спільна робота конструкції, що посилюється, і бетону, з якого виготовляються елементи її посилення, забезпечується якістю їх контактної зони, які, згідно<sup>1,2,3</sup>, характеризуються, насамперед, суцільністю контакту та його міцністю.

Процеси структуроутворення в контактній зоні між матеріалом будівельної конструкції та бетоном посилення відрізняються від процесів структуроутворення, що проходять в обсязі бетону та цементного тесту. Це положення обумовлюється тим, що в контактній зоні один з елементів – поверхня будівельної конструкції, що знаходиться в твердому стані. Отже, більшість реакцій взаємодії між матеріалом будівельної конструкції та компонентами бетону посилення проходилимуть лише на межі їхнього розділу. Ступінь цих взаємодій визначає величину міцності контакту (контактного шару) між матеріалом будівельної конструкції та бетоном підсилення. Відповідно до<sup>4</sup>, міцність контактного шару, в першу чергу, формується за рахунок адгезії бетону, що наноситься, до поверхні будівельної конструкції та їх механічного зачеплення<sup>1,2,3,5</sup>.

Питанням вивчення впливу механічного зачеплення «свіжого» та «старого» бетонів на міцність їхнього контакту присвячено досить велику кількість робіт<sup>1,2,3,5</sup>. Питання впливу адгезійної складової на міцність контактного шару цих бетонів розглянуто в роботах<sup>2,4</sup>, однак в даний час немає достатньо повних даних для опису цього впливу,

---

<sup>1</sup> Большаков В.И., Дервянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

<sup>2</sup> Пшінько О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2000. 411 с.

<sup>3</sup> Руденко Н.Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. Днепропетровск: Арт-Пресс, 1999. 260 с.

<sup>4</sup> Джейкок М., Парфит Дж., Химия поверхностей раздела фаз: Пер. с англ. Москва : Мир, 1984. 269 с.

<sup>5</sup> Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон. Москва : Стройиздат, 1981. 447 с.

тому в роботі приділено основну увагу адгезії бетону посилення до матеріалів будівельних конструкцій.

Відповідно до<sup>6</sup>, робота адгезії може бути описана рівнянням

$$W_a = W_1 \cdot n, \quad (1)$$

де  $W_1$  – енергія одиничного адгезійного зв'язку,  
 $n$  – кількість зв'язків.

Отже, при одній і тій же величині енергії одиничного адгезійного зв'язку збільшення кількості зв'язків (контактів) призведе до збільшення адгезії. Збільшення кількості зв'язків –  $n$ , відбувається при адсорбції компонентів цементу – компонента підсилюючого бетону, на поверхню конструкції. За природою зв'язків адсорбенту та адсорбтиву, згідно<sup>7</sup>, адсорбцію поділяють на фізичну та хімічну. Якщо фізична адсорбція фактично являє собою процес конденсації і, в основному, забезпечує збільшення кількості контактів, то хімічна адсорбція обумовлюється перерозподілом електронів взаємодіючих речовин і подібна, згідно<sup>7</sup>, хімічній реакції, тобто. супроводжується утворенням у зоні контакту нових речовин та формує величину енергії одиничного зв'язку –  $W_1$ . При фізичній адсорбції між адсорбентом та адсорбтивом утворюються в основному водневі зв'язки. Величина енергії цього виду адгезії відносно невелика і досягає 50 кДж/моль<sup>8</sup>. При хімічній адсорбції у контактному шарі виникають іонні, ковалентні чи координаційні зв'язки, що зумовлюють виникнення адгезії хімічного типу. Величина енергії даного виду адгезії досягає 200 кДж/моль і можна порівняти з енергіями хімічних зв'язків<sup>8</sup>.

У початковий період контакту бетонної суміші з поверхнею будівельної конструкції, міцність їх зчеплення в основному визначається адгезійними властивостями цементного тіста або бетонної суміші. Згодом ця адгезія замінюється адгезією утворюються в процесі твердіння підсилюючого бетону, цементуючих гідратних фаз.

---

<sup>6</sup> Большаков В.И., Деревянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

<sup>7</sup> Кузнецов А.М. Технология вяжущих веществ и изделий из них. Москва : Высш.шк., 1963. 455 с.

<sup>8</sup> Джейкок М., Парфит Дж., Химия поверхностей раздела фаз: пер. с англ. Москва: Мир, 1984. 269 с.

Результати досліджень, в наслідок яких розроблено спеціальні в'язучі речовини<sup>9,10</sup> і бетони на їх основі<sup>11,12,13,14,15</sup>, дозволяють прогнозувати застосування їх для ремонту композитних доків та інших плавучих споруд.

Означені в'язучі речовини і бетони на їх основі містять перехідні, зокрема залізовміщуючі, компоненти, які відносяться до грубодисперсних поверхнево-активних речовин (ПАР), та гідрофобні колоїдні ПАР. Суміш означених ПАР являє собою комплексну ПАР.

Таким чином, збільшення міцності контакту між матеріалом посилюється конструкції та бетоном посилення визначається збільшенням ступеня хімічної адсорбції компонентів дисперсної системи «гідралічна в'язуча речовина – комплексна ПАР» – компонента підсилюючого бетону, на поверхню конструкції, чому і присвячена дана група досліджень.

### **1. Вплив виду та кількості комплексної ПАР у дисперсній системі «гідралічна в'язуча речовина – комплексна ПАР» на величину її адгезії до бетону**

Присутність у дисперсній системі «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» гідрофільного грубодисперсного, заснованого на перехідних хімічних елементах, та лужного молекулярно-колоїдного ПАР призводить до зміни процесів її структуроутворення. У цій групі експериментів досліджено зміну величини адгезії дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» тесту до поверхні будівельних конструкцій залежно від виду та кількості ПАР у даній системі, виду матеріалу, з якого виготовлено будівельну конструкцію та стан її поверхні.

---

<sup>9</sup> Шишкин А.А., Герасимова Е.В. Бетоны с комплексной полимерной добавкой на основе железа и органических соединений. *Сб. научн. тр.: Строительство. Материаловедение. Машиностроение*, Вып. № 37. Дн-ск: ПГАСА, 2006, С. 542–548.

<sup>10</sup> Шишкин А.А. Минерально-органические композиции на основе соединений d-элементов для ремонта железобетонных конструкций. *Будівельні конструкції. Міжвідомчий науково – технічний збірник*, Вип. 72, Київ, НДІБК, 2009, С. 371–379.

<sup>11</sup> Шишкин А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны. *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. 2(17). С. 56–65

<sup>12</sup> Shishkin A., Shishkina A., Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vols. 633-634. pp. 917–921.

<sup>13</sup> Шишкін О.О. Дослідження впливу сполук перехідних елементів на міцелярний катализ формування міцності реакційного порошкового бетону. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2016. 2/6 (80). С. 60–65.

<sup>14</sup> Шишкин А. А. Мирсков В. В. Повышение прочности контактной зоны бетонов усиления и усиливаемой конструкции. *Новітні технології, обладнання та системи управління в будівництві*. Харків: ХНУБА, 2016. С. 11–15.

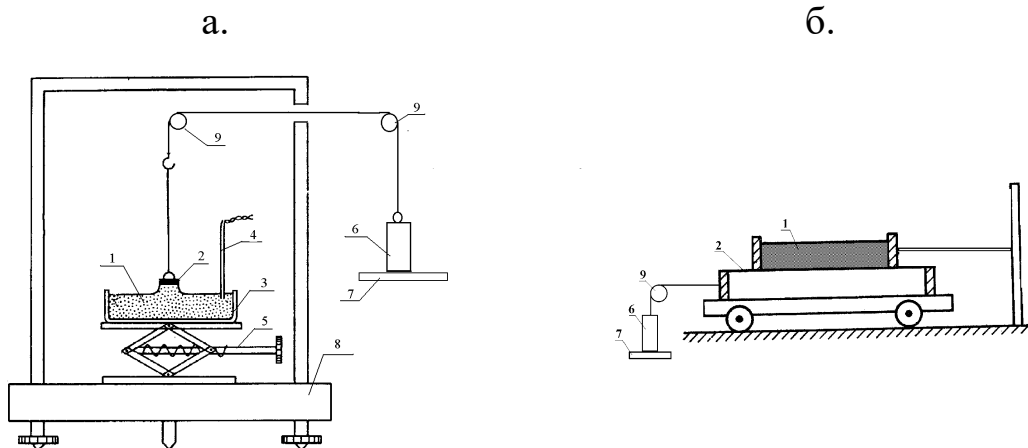
<sup>15</sup> Шишкіна О.О., Шишкін О.О. Дрібнозернистий бетон для ремонту гідротехнічних споруд. *Shipbuilding&marine infrastructure*. 2020. № 2(4). С. 30-37.

Під час проведення експериментів використовувався Криворізький портландцементний клінкер та шлаколувне в'яжуче, отримане на основі меленого до питомої поверхні  $3000 \text{ см}^2/\text{гр}$ . доменного гранульованого шлаку ПрАТ «Міталстіл Кривий Ріг» та рідкого натрієвого скла різної щільності та силікатного модуля. Як гідрофільні грубодисперсні ПАР, засновані на перехідних хімічних елементах, застосовували: оксид заліза, карбонат заліза, оксид марганцю та кварцово-залізо-карбонатні гірські породи (КЗКП) Криворізького родовища. Як лужні колоїдні ПАР – олеат натрію, стеарат натрію та натрієву сіль карбоксиметилцелюлози.

Приготування цементного тіста та бетонної суміші проводилося шляхом перемішування їх компонентів у лабораторній мішалці протягом 5 хв.

Вплив виду та кількості комплексної ПАР у дисперсній системі «гідралічна в'яжуча речовина – комплексна ПАР» на величину її адгезії до бетону визначалося шляхом визначення міцності зчеплення цементного тіста, як дисперсної системи «гідралічне в'яжуче – комплексна ПАР», з поверхнею будівельних конструкцій при відриві та зрізі спеціально розробленою методикою (рис. 1).

Приготовлене цементне тісто 1 поміщалося в ємність 3, яка розташовувалась у випробувальній установці 8 і ущільнювалося вібруванням. Потім, ємність 3 підйомним столиком 5 піднімалася до дотику цементного тесту з пластиною 2, виготовленої з матеріалу, величина фізичної адгезії якого підлягала дослідженню в дослідах. Для контролю температури цементного тіста, в нього занурювалася термопара 4.



**Рис. 1. Схема випробувань щодо величини адгезії цементного тіста**

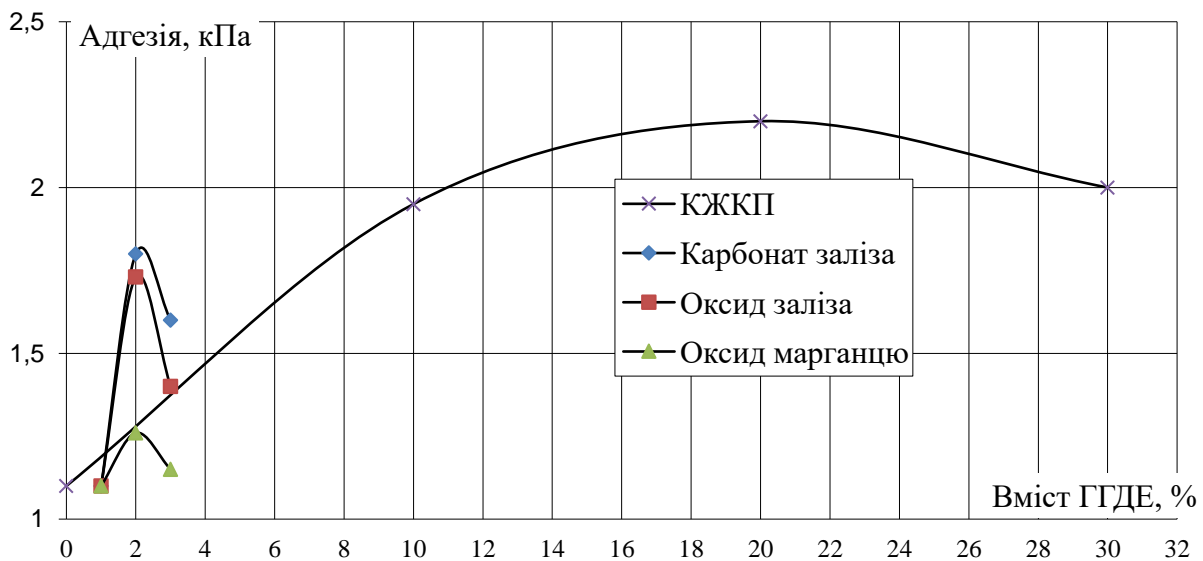
*а. – На відрив, б. – На зріз: 1 – цементне тісто; 2 – пластина з матеріалу, що підлягає випробуванням; 3 – ємність для цементного тесту; 4 – термопара; 5 – підйомний столик; 6 – ємність для металевого дробу; 7 – чаша терезів; 8 – установка для випробувань; 9 – блоки*

Зусилля відриву пластини 2 від цементного тіста 1 створювалося масою металевого дробу, який засипався в ємність 6, що знаходиться на чаші ваг 7. Маса пластини 2 врівноважувалася масою металевого дробу, що засипалася в ємність 6. Ємність 6 з'єднували з пластиною 2 сталевим дротом через блоки 9. Зусилля відриву прикладали через 1; 2; 10; 15; 30; 60; 120 та 180 хв. після укладання пластини на поверхню цементного тіста. Після відриву цементного тіста від поверхні пластини, ємність з дробом зважували і визначали величину адгезії за формулою

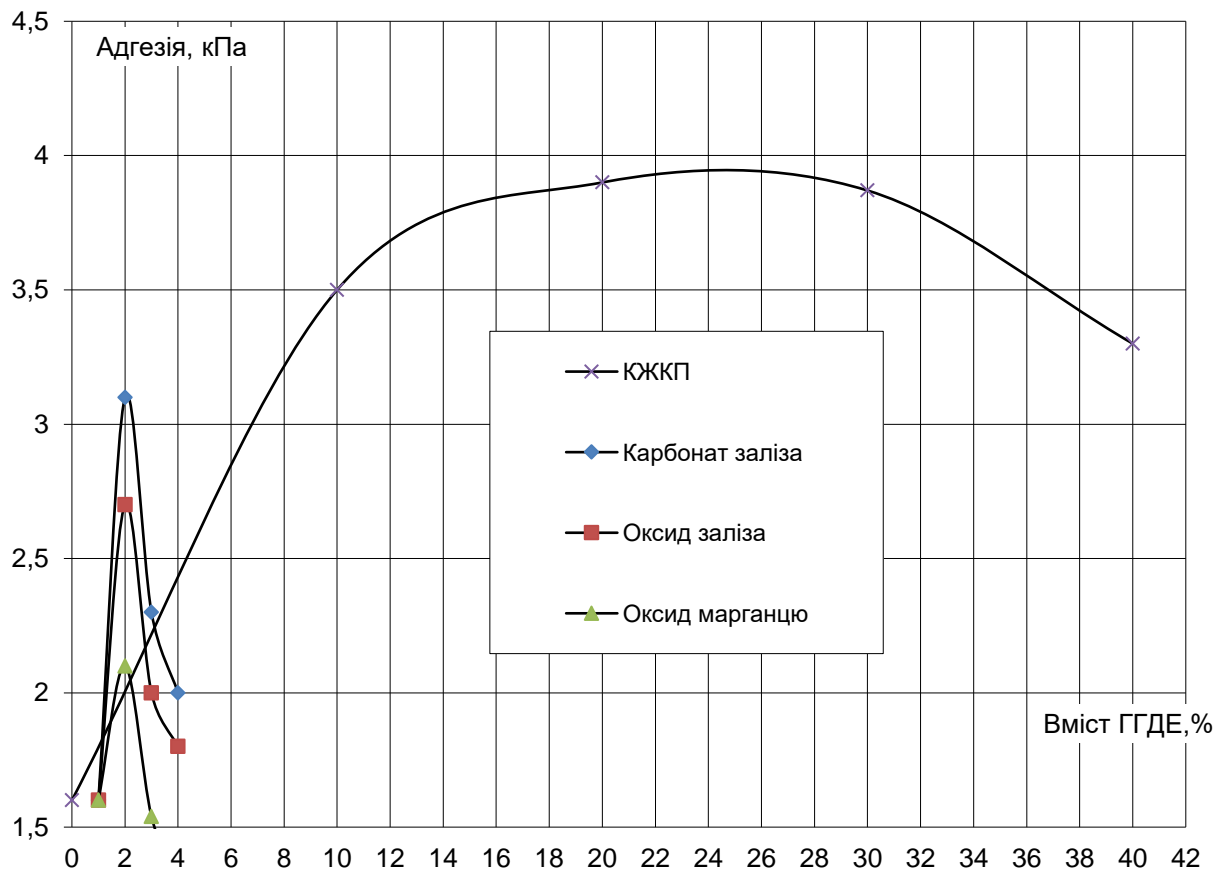
$$\sigma_a = \frac{P}{S},$$

де  $P$  – маса металевого дробу, під дією якого відрив пластини від цементного тесту, кН,  
 $S$  – площа пластини, см<sup>2</sup>.

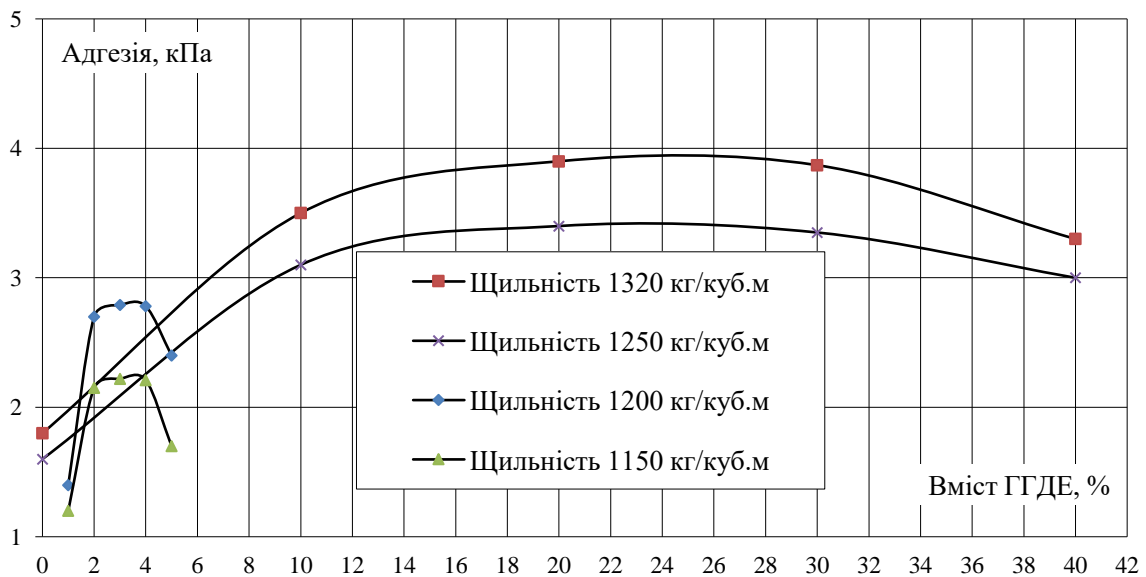
В умовах проведення експерименту дисперсна система «гідралічне в'язуче – гідрофільна грубодисперсна ПАР, заснована на перехідних хімічних елементах», отриманої як на основі портландцементу (рис. 2), так і на основі шлаколужного в'язучого (рис. 3...5) має підвищену адгезію до бетону.



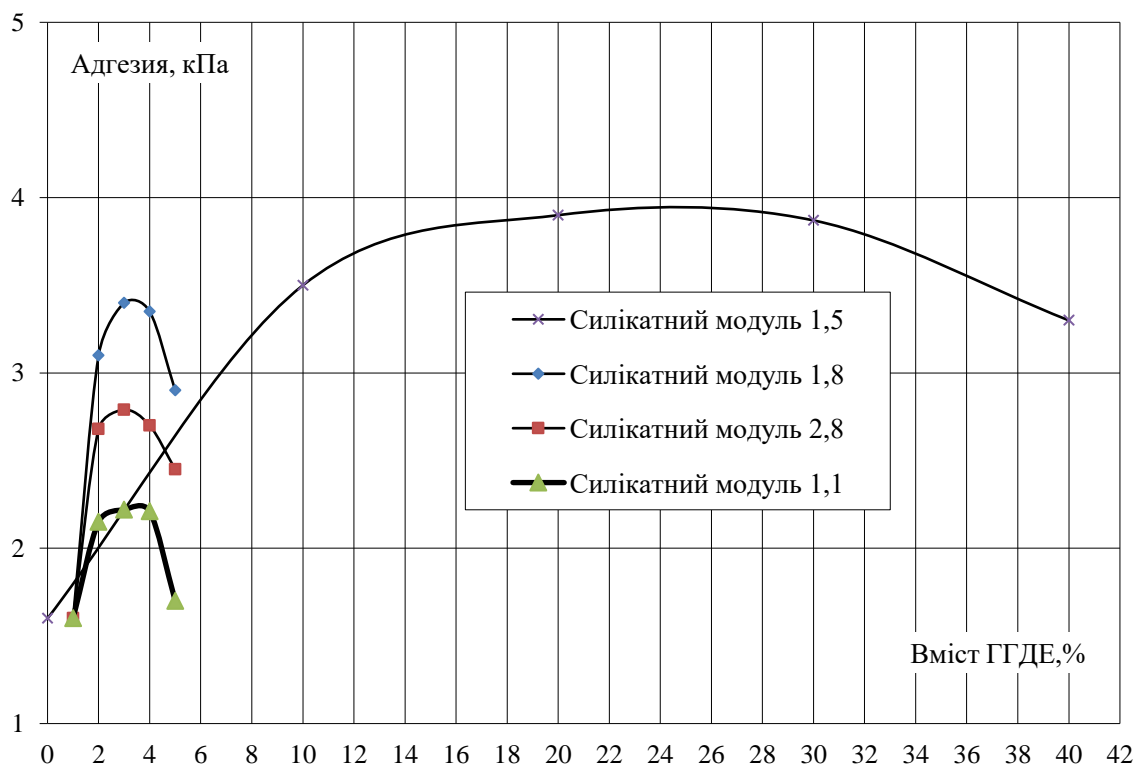
**Рис. 2. Вплив гідрофільних грубодисперсних ПАР (ГГДЕ) на величину адгезії до бетону дисперсної системи «портландцементний клінкер – ГГДЕ»**



**Рис. 3. Вплив гідрофільних грубодисперсних ПАР (ГГДЕ) на величину адгезії до бетону дисперсної системи «шлаколувне в'язуче – ГГДЕ»**



**Рис. 4. Вплив щільності рідкого скла на величину адгезії до дисперсного бетону системи «шлаколувне в'язуче – кварцово-залізо-карбонатна порода (ГГДЕ)» (В/Ц=0,35, силікатний модуль рідкого скла – 1,5)**

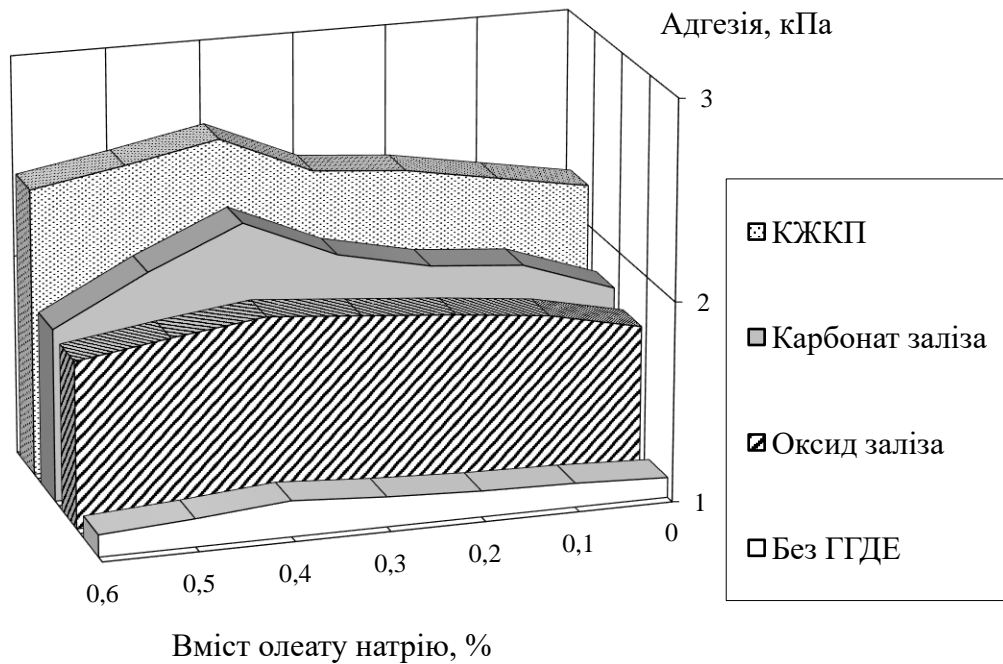


**Рис. 5. Вплив силікатного модуля рідкого скла щільністю 1250 кг/м<sup>3</sup> на величину Адгезії до бетону дисперсної системи «шлаколузжне в'язуче – кварцово-залізо-карбонатна порода (ГДДЕ)»**

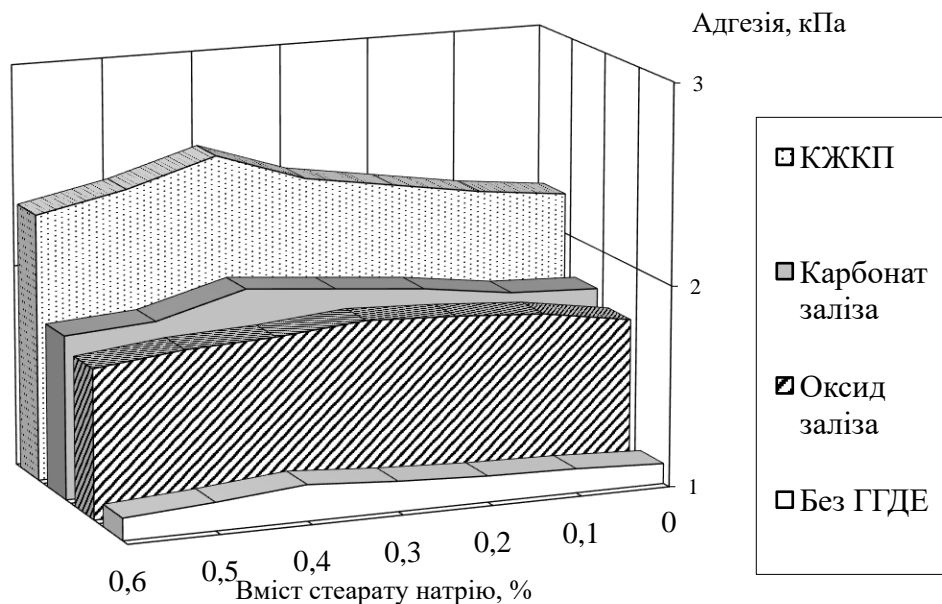
Практично для всіх видів застосованих гідрофільних грубодисперсних ПАР існує їх вміст у системі, що відповідає максимальній величині адгезії.

Для дисперсної системи «гідралічне в'язуче – гідрофільна грубодисперсна ПАР, заснована на перехідних хімічних елементах», отриманої на основі шлаколузжого в'язучого, максимальна величина адгезії забезпечується при застосуванні рідкого скла щільністю 1320 кг/м<sup>3</sup> з силікатним модулем 1,5...1,8.

В умовах проведення експерименту введення в дисперсну систему «гідралічне в'язуче – гідрофільна грубодисперсна ПАР» лужної молекулярно-колоїдної ПАР призводить до збільшення адгезії до бетону цієї системи, отриманої як на основі портландцементу (рис. 6...8), так і шлаколузжого в'язучого (рис.9) відразу після її приготування.

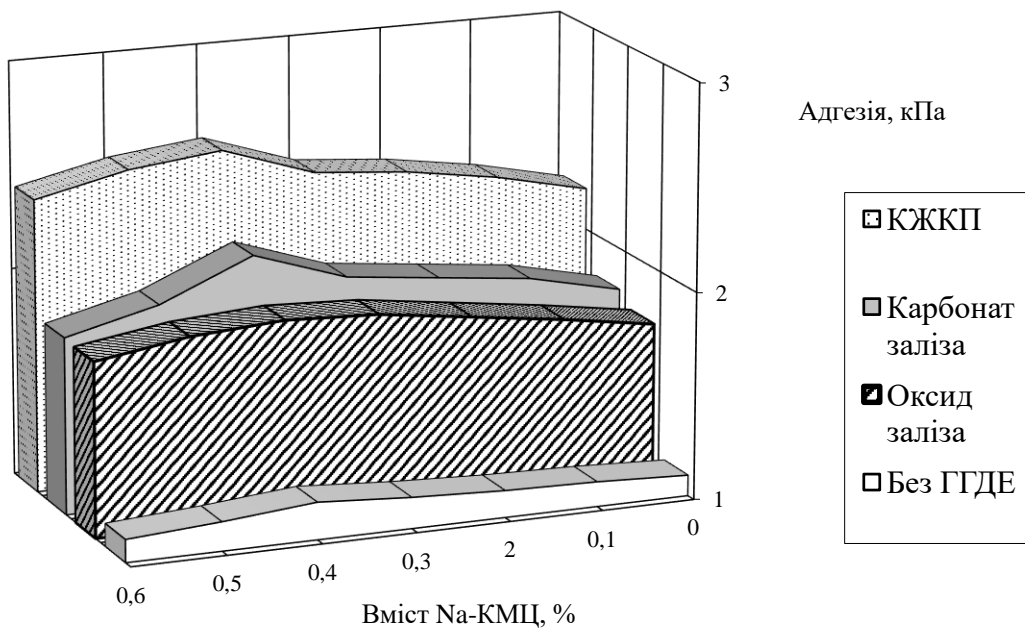


**Рис. 6. Вплив вмісту олеату натрію в дисперсній системі «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» на її адгезію до бетону (Клінкер Криворізького ЦГК, В/Ц=0,35, вміст гідрофільної грубодисперсної ПАР – 20%)**

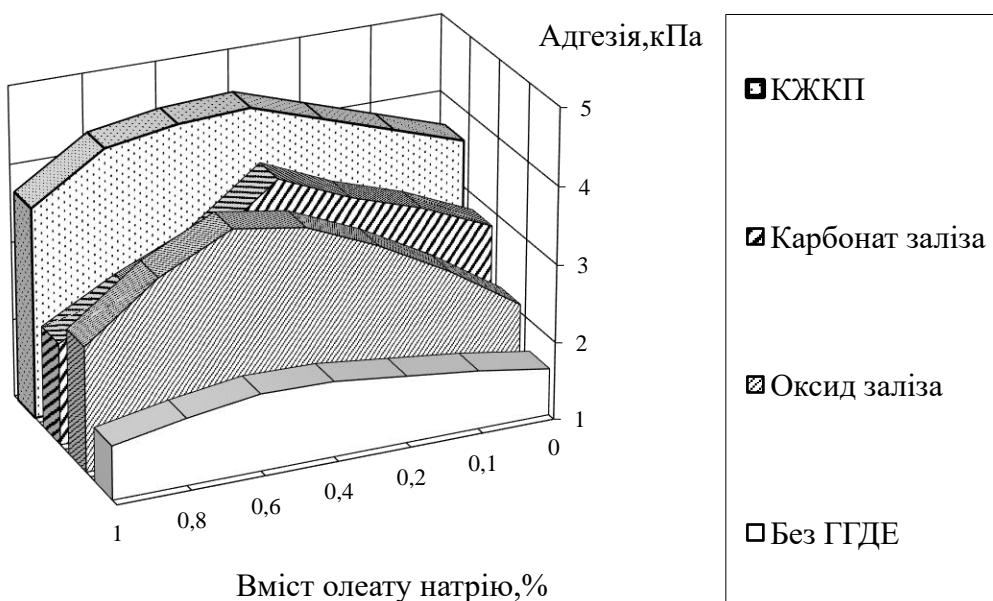


**Рис. 7. Вплив вмісту натрію стеарату в дисперсній системі «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» на її адгезію до бетону (В/Ц=0,35, вміст гідрофільної грубодисперсної ПАР – 20%)**





**Рис. 8. Вплив змісту Na-КМЦ у дисперсій системі «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» на її адгезію до бетону (В/Ц=0,35, вміст гідрофільної грубодисперсної ПАР – 20%)**



**Рис. 9. Вплив вмісту олеату натрію в дисперсій системі «шлаколувне в'язуче – комплексна ПАР» на її адгезію до бетону (В/Ц=0,35 на рідкому склі щільністю 1250 кг/м<sup>3</sup> та силікатним модулем 1,5, при вмісті гідрофільної грубодисперсної ПАР – 20%)**

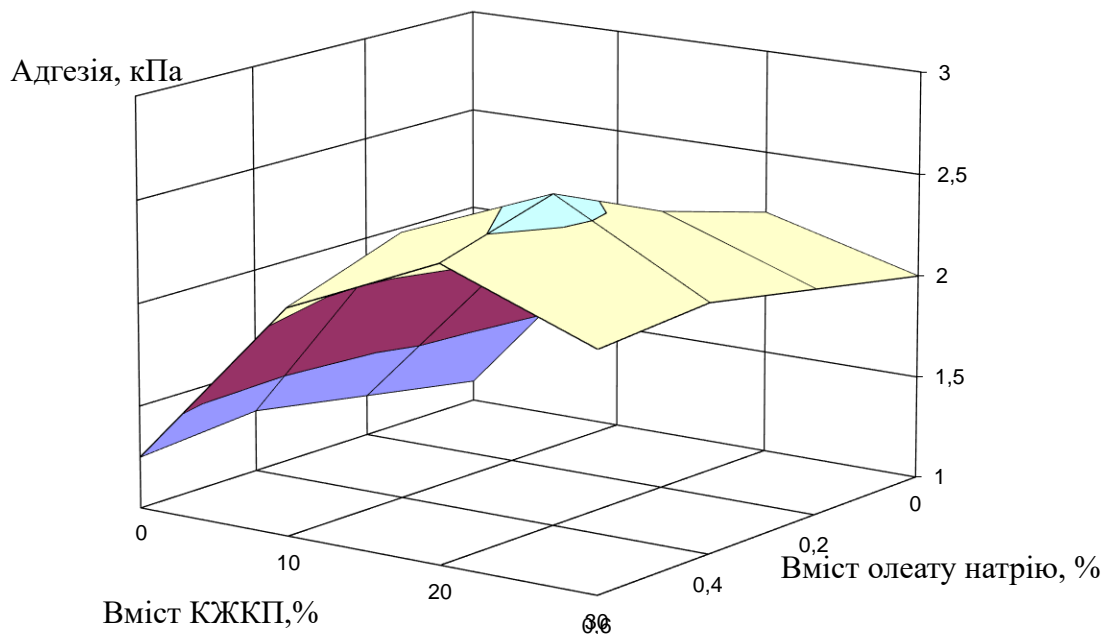
Для всіх видів застосованих лужних молекулярно-колоїдних ПАР (олеат натрію, стеарат натрію, натрієва сіль карбоксиметилцелюлози – Na-КМЦ) існує їх вміст у системі, що зумовлює максимальну величину адгезії.

Обробка результатів досліджень впливу складу комплексного ПАР у дисперсній системі «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (рис.10) дозволило визначити математичну модель «склад – адгезія» для даної системи

$$R_a = 1.1 + 0.79 \cdot N - 0.89 \cdot N^2 + D(0.108 - 0.03 \cdot N + 0.25 \cdot N^2) - D^2(0.0025 + 0.0037 \cdot N - 0.005 \cdot N^2) \quad (2)$$

де  $N$  – вміст олеату натрію в системі;

$D$  – вміст кварцово-залізо-карбонатної породи в системі.



**Рис. 10. Вплив складу комплексної ПАР на величину дисперсної адгезії системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» до бетону**

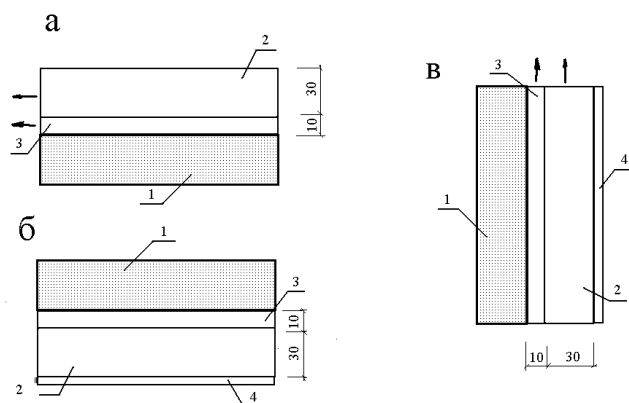
Таким чином, введення як гідрофільної грубодисперсної, заснованої на перехідних хімічних елементах, так і лужної молекулярно-колоїдної ПАР призводить до підвищення адгезії до бетону дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР», отриманої як на основі портландцементного клінкеру, так і на основі шлаколужного в'язучого. Це свідчить про спільну участь у формуванні адгезії цієї системи до бетону обох видів ПАР.

## 2. Зміна в часі величини адгезії дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» до бетону

Зміна в часі величини адгезії дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» відбувається, згідно<sup>16</sup>, за рахунок збільшення ступеня адсорбції компонентів цієї системи на поверхні бетону.

У цій групі експериментів досліджено ступінь адсорбції та склад адсорбованих на бетонній поверхні компонентів дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» залежно від водоцементного відношення та вмісту в ній гідрофільних грубодисперсних, заснованих на перехідних хімічних елементах, та лужної молекулярно-колоїдної ПАР.

Визначення концентрації компонентів дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» у її контактній зоні з бетонною поверхнею виконувалося при його нанесенні на верхню, нижню горизонтальну та бічну поверхні спеціально приготовлених бетонних зразків (рис.11).



**Рис. 11. Схеми випробувань щодо адгезії дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» до бетону**

*а – при нанесенні на верхню поверхню; б – при нанесенні на нижню поверхню; в – при нанесенні на бічну поверхню бетонного зразка: 1 – бетонний зразок; 2 – перша знімна частина форми; 3 – друга знімна частина форми; 4 – дно (стінка) форми*

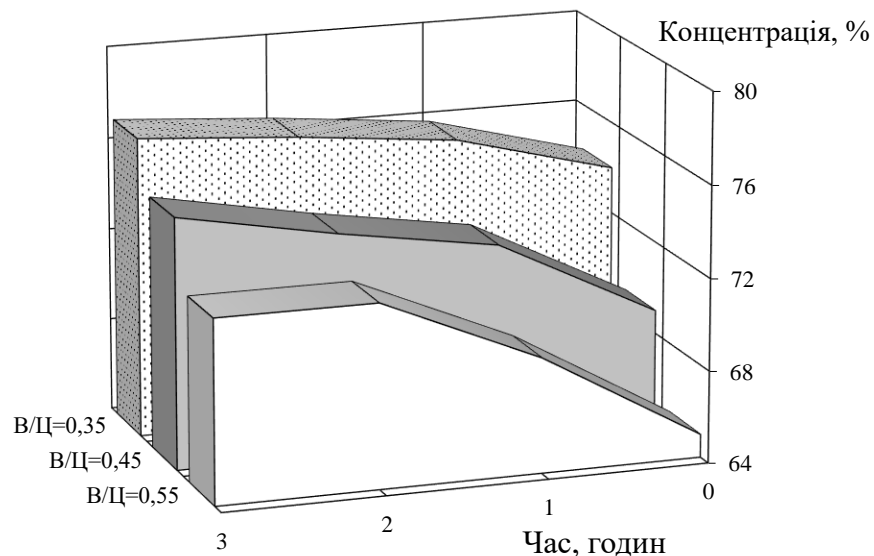
При нанесенні дисперсної системи тесту на верхню поверхню бетонного зразка на верхню поверхню встановлювали знімну форму, що складається з двох частин 1 і 2.

Форму заповнювали цементним тістом, яке ущільнювали вібраванням. При нанесенні цементного тіста на нижню поверхню

<sup>16</sup> Кузнецов А.М. Технология вяжущих веществ и изделий из них. Москва : Высш.шк., 1963. 455 с.

бетонного зразка до знімної форми, що складається з двох частин 1 і 2, прикріплювали дно 4. Після чого форму заповнювали цементним тістом і на його поверхню укладали бетонний зразок. При нанесенні цементного тіста на бічну поверхню бетонного зразка до нього прикріплювали знімну форму, що складається з двох частин 1 і 2, яка мала бічну сторону 4. Заповнення форми цементним тістом здійснювали зверху. Через певні проміжки часу (1, 2 і 3 години) знімну частину форми 2 разом з цементним тістом, що знаходиться в ній, видаляли шляхом зсуву і зважуванням визначали масу даної частини цементного тіста –  $P_0$ . Потім з поверхні зразка видаляли шляхом зсуву знімну частину форми 1 разом з цементним тістом, що знаходиться в ній, і зважуванням визначали масу даної частини цементного тіста –  $P_{кc}$ . Висушуванням при температурі 110°C, визначали масу компонентів спеціального цементу – в масі цементного тіста –  $P_0$  і масу компонентів цементу – в цементному тісті, відібраному в контактній зоні –  $P_{кc}$ .

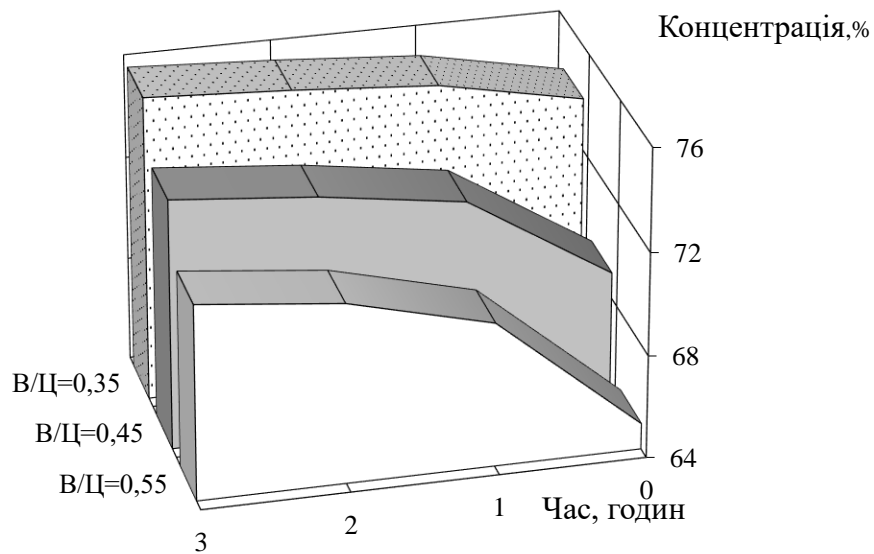
В умовах проведення експерименту кількість частинок дисперсної фази дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», у її контактному шарі з бетонною поверхнею збільшується (рис. 12...14).



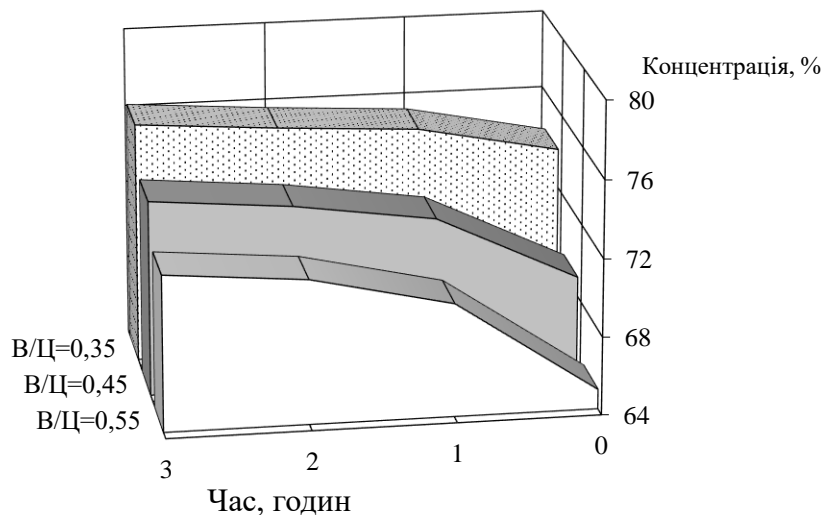
**Рис. 12. Зміна в часі концентрації частинок дисперсної фази системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», в контактному шарі з бетоном (при нанесенні на верхню поверхню бетонного зразка)**

Очевидно, що при нанесенні цієї системи на верхню поверхню бетонного зразка збільшення вмісту в контактній зоні частинок її дисперсної фази з бетоном сприяє седиментація цих частинок. У всіх випадках з часом у межах експерименту біля поверхні бетонної

конструкції підвищується концентрація оксидів заліза, кальцію та кремнію (рис.15), що встановлено методами хімічного аналізу, які виконувались за методикою<sup>17</sup>.

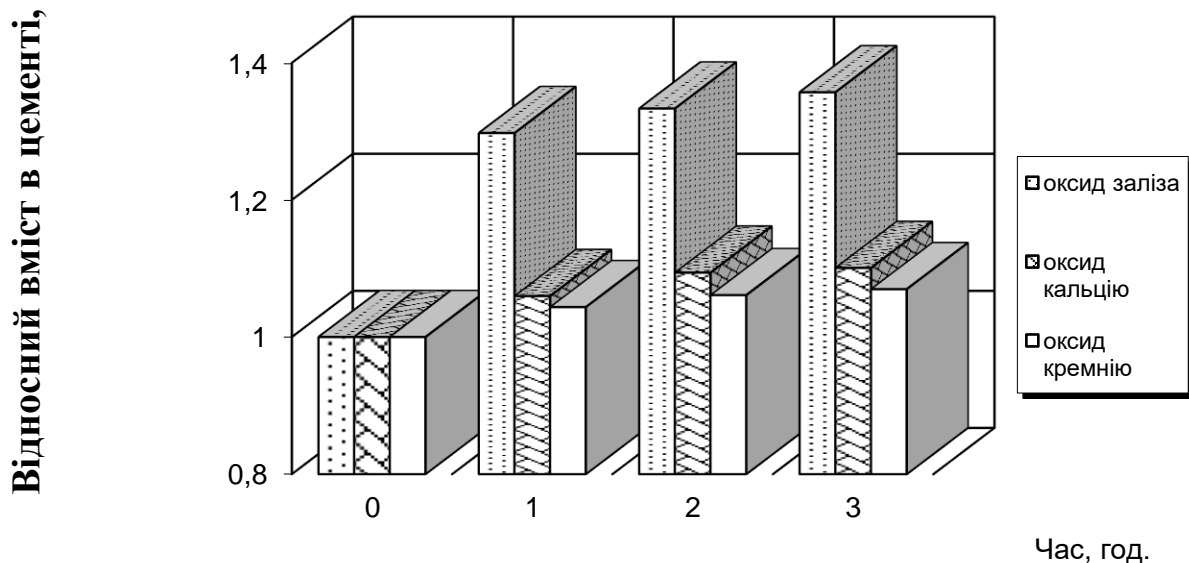


**Рис. 13. Зміна в часі концентрації частинок дисперсної фази системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» у контактному шарі з бетоном (при нанесенні на нижню поверхню зразка)**



**Рис. 14. Зміна концентрації частинок дисперсної фази дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» у контактному шарі з бетоном (при нанесенні на бічну поверхню зразка)**

<sup>17</sup> Бутт Ю. М. Лабораторный практикум по технологии вяжущих веществ. – М» Высш. шк., 1971. – 467 с.



**Рис. 15. Зміна вмісту основних оксидів дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» у контактній зоні з бетоном**

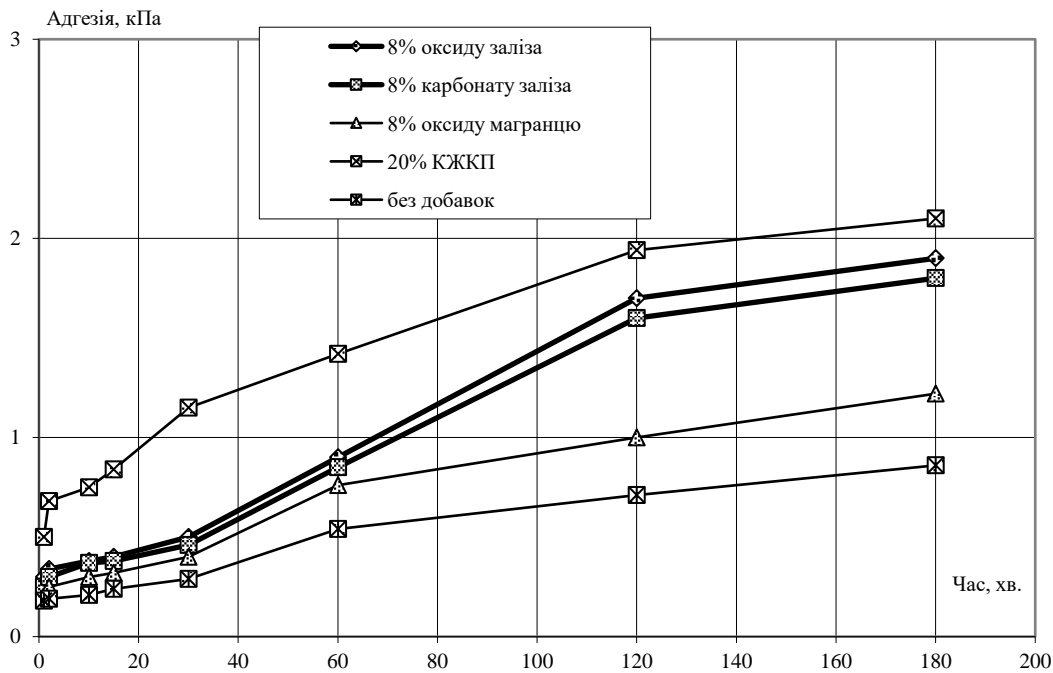
Збільшення в часі адгезії дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (рис. 16) відповідає збільшенню кількості дисперсної фази цієї системи в її контактній зоні з бетонною поверхнею (рис.12...14) та має характер аналогічний до характеру зміни її структурної міцності в часі.

Таким чином, збільшення в часі адгезії дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» до бетону забезпечується за рахунок підвищеної адсорбції частинок твердої фази цієї системи на бетонній поверхні (рис. 12...15) і, як наслідок, збільшення кількості контактів компонентів цієї системи бетоном, а також гідратації цієї системи.

Стан бетонної поверхні будівельної конструкції характеризується (згідно<sup>18,19</sup>) її пористістю, вологістю та ступенем корозійного руйнування карбонізацією, які впливають на величину адгезії бетонної суміші, що наноситься на них.

<sup>18</sup> Большаков В.И., Деревянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

<sup>19</sup> Пшінько О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2000. 411 с.



**Рис. 16. Зміна в часі величини адгезії до бетону дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (КЖКП – кварцово-залізо-карбонатна порода)**

При нанесенні дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» на бетонну поверхню будівельної конструкції, ця система тією чи іншою мірою (згідно<sup>20,21</sup>) заповнює пори бетонної поверхні.

### **3. Вплив стану бетонної поверхні будівельної конструкції на величину адгезії до неї дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексне ПАР»**

У цій групі експериментів досліджено зміну адгезії дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» до бетонної поверхні будівельних конструкцій залежно від величини пористості та вологості останньої. При цьому контролювали ступінь поглинання компонентів дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» порами бетонної поверхні будівельної конструкції та величину адгезії дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» до цієї поверхні залежно від її пористості.

<sup>20</sup> Пшінько О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2000. 411 с.

<sup>21</sup> Руденко Н.Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. Днепропетровск : Арт-Пресс, 1999. 260 с.

Для визначення ступеня поглинання компонентів дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» поверхню бетонної конструкції було відібрано в лабораторії бетонні зразки різного віку, що тверділи в різних умовах, які висушували до постійної маси. На верхню поверхню зразків встановлювався скляний циліндр без дна. Стик нижньої грані циліндра та поверхні бетонних зразків, герметизувався технічним вазеліном. У циліндр наливали до нульової його позначки воду, на поверхню якої з метою виключення впливу випаровування наносили краплю машинного масла. Час виміру було прийнято – 3 години, як час за який, як показали експерименти, наведені вище, бетонна суміш втрачає рухливість повністю. Через вказаний час визначалася кількість води, яку поглинула одиниця поверхні бетону. Цей показник з достатньою точністю характеризує відкриту (капілярну) пористість бетону. Після цього зразок знову висушували до постійної маси, на його верхню поверхню встановлювали скляний циліндр без дна, герметизували, описаним вище способом стик нижньої його грані з поверхню зразка і заповнювали за допомогою штикування цементним тістом – дисперсною системою «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», з заданою величиною водоцементного відношення. В даному випадку ступінь поглинання визначалася як різниця маси цементного тіста, що заповнив циліндр і маси цементного тіста в циліндрі після витримки. В останню входила і маса цементного тіста, яке видалялося з поверхні зразка металевою лінійкою після видалення циліндра. Критерієм оцінки результатів експериментів була ступінь поглинання, що визначається як відношення маси поглиненої рідини (води або цементного тіста) до початкової маси цементного тіста, відношення маси поглиненого цементного тіста до маси поглиненої води та коефіцієнт втрати води з цементного тіста, який визначався як відношення кінцевого водоцементного відношення у цементному тісті до початкового водоцементного відношення. У дослідженнях застосовували цементне тісто, приготоване на портландцементі Криворізького цементного комбінату та дисперсна система «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», що містить 80 % портландцементного клінкеру Криворізького цементного комбінату, 20 % кварцово-залізних 0,4 % від маси портландцементного клінкеру та кварцово-залізо-карбонатних гірських порід.

У разі проведення експериментів відбувається поглинання порами бетону, як звичайного цементного тіста, і дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (табл. 1).



В умовах експерименту підвищення кількості відкритих пор на бетонній поверхні, визначена за ступенем поглинання нею води, призводить до збільшення поглинання цементного тіста (табл. 1). За інших рівних умов бетонною поверхнею поглинається більша кількість дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» порівняно з бездобавковим цементним тістом (табл. 1). При цьому з цементного тіста більше поглинається води, ніж частинок цементу, що свідчить збільшення відношення маси поглиненого цементного тіста до маси поглиненої води (табл. 1).

Таблиця 1

**Ступінь поглинання рідин поверхнею бетону**

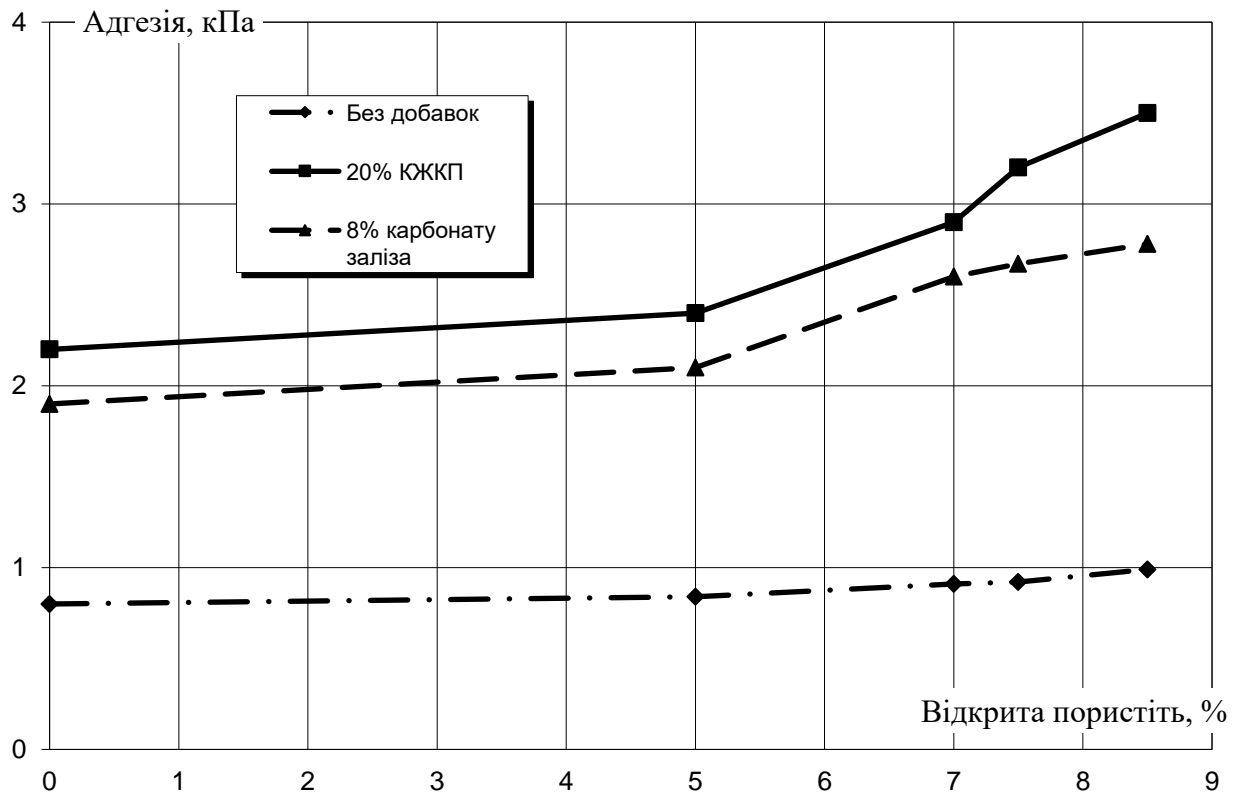
Ступінь поглинання води, %	Ступінь поглинання цементного тіста, %		Відношення маси поглиненого цементного тіста до маси поглиненої води		Відношення кінцевого водоцементного відношення в цементному тісті до початкового водоцементного відношення	
	Звичайне	спеціальне	Звичайне	спеціальне	Звичайне	спеціальне
5,2	1,8	2,1	0,35	0,40	0,93	0,97
6,8	2,4	3,6	0,35	0,53	0,95	0,98
7,5	3,1	4,8	0,41	0,64	0,97	0,99
8,4	3,6	6,6	0,43	0,76	0,98	0,99

Таким чином, за інших рівних умов, дисперсна система «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», поглинається порами бетонної поверхні більшою мірою, ніж цементне тісто, отримане на бездодатковому портландцементі, що свідчить про пластифікуючу дію комплексної ПАР.

В умовах проведення експериментів зі збільшенням пористості бетонної поверхні відбувається збільшення адгезії, як звичайного цементного тіста, і дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (рис. 17), що узгоджується з даними<sup>22,23</sup>. Однак при цьому ступінь збільшення адгезії дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» значно вищий, ніж у відомих.

<sup>22</sup> Большаков В.И., Деревянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

<sup>23</sup> Пшінько О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2000. 411 с



**Рис. 17. Адгезія дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», що містить різні види та кількість гідрофільних грубодисперсних ПАР та 0,0004 % олеату натрію, до бетонної поверхні залежно від її відкритої пористості**

Таким чином, за інших рівних умов збільшення відкритої пористості бетонної поверхні конструкції призводить до збільшення адгезії до неї дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» за рахунок збільшення ступеня поглинання її порами бетонної поверхні, що призводить до збільшення ступеня механічного зачеплення між ними.

При дослідженні впливу вологості бетонної поверхні на величину адгезії до неї дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» за основу було прийнято методику, описану в роботі<sup>24</sup>. Однак, у дослідженнях ступінь насичення бетонної поверхні встановлювали не довільно, як це було запропоновано у роботі<sup>25</sup>,

<sup>24</sup> Большаков В.И., Деревянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

<sup>25</sup> Большаков В.И., Деревянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

а з урахуванням її максимально можливого насичення водою. Дана зміна методики експерименту дозволяє врахувати вплив водоутримуючої здатності бетонної поверхні та ступеня її зволоження на величину адгезії.

Для проведення експериментів були приготовлені зразки бетону розміром 10x10x40 мм. Склади бетонів, застосовані для виготовлення зразків, відрізнялися витратою цементу та води при постійній витраті піску та щебеню. За методикою<sup>24</sup> визначено граничне водопоглинання одиницею поверхні приготовлених зразків. Після висушування зразки насичували водою до 20, 40, 60, 80 і 100% від можливого їх водонасичення.

У разі проведення експерименту збільшення ступеня водонасичення бетонної поверхні до 40% граничної призводить до збільшення адгезії дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР». Подальше збільшення ступеня водонасичення бетонної поверхні знижує величину адгезії (рис. 18). Зі збільшенням ступеня насичення водою бетонної поверхні змінюється склад адсорбованих у ньому компонентів дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (рис. 18).

Збільшується вміст у контактному шарі води та лугів, вміст оксидів заліза та кремнію знижується (рис. 18). При відносно невисокому ступені водонасичення бетонної поверхні (в умовах експерименту до 40% від граничної) вода на її поверхні знаходиться в тонких шарах, і має (згідно<sup>26,27</sup>) підвищену щільність і в'язкість.

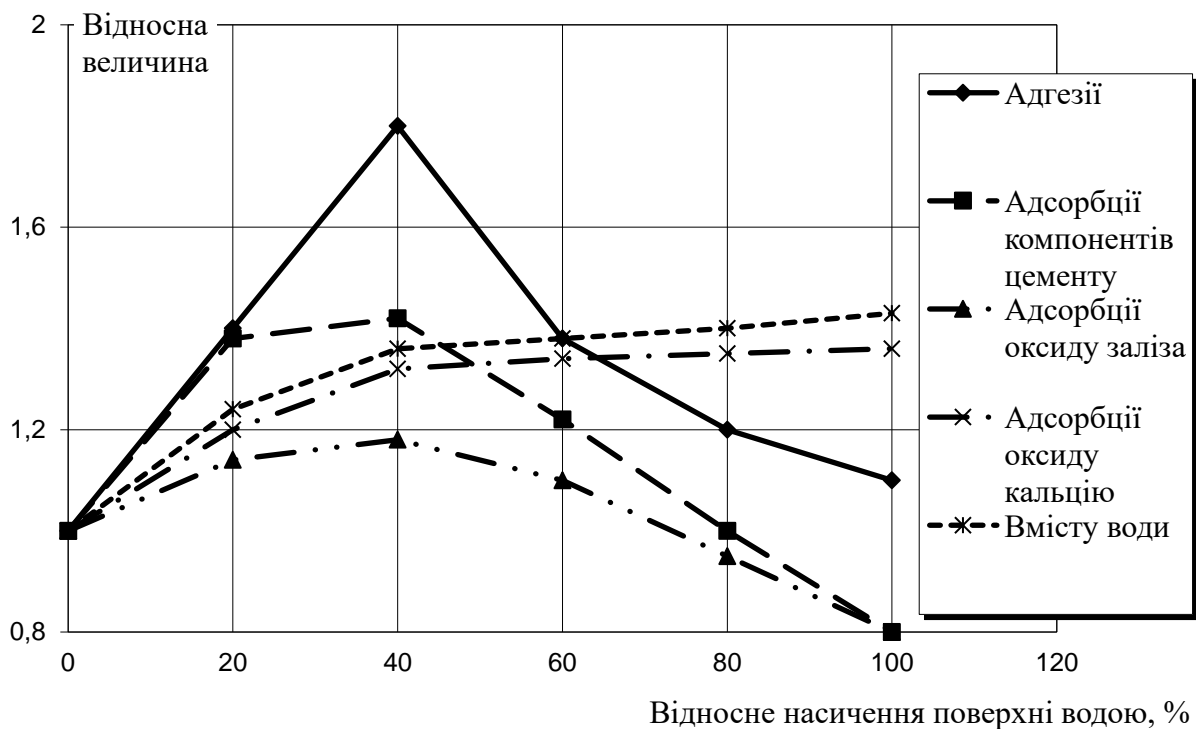
Тобто, вода, згідно до<sup>25</sup>, перебуває у псевдотвердому стані і значно впливає на процеси адсорбції компонентів дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», лише знижуючи поверхневе натяг бетонної поверхні. Це, у свою чергу, (згідно<sup>25,28</sup>) сприяє збільшенню ступеня розтікання на ній дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» та проникнення її в пори поверхні, що, як наслідок, і збільшує адгезію.

---

<sup>26</sup> Джейкок М., Парфит Дж., Химия поверхностей раздела фаз: Пер. с англ. Москва: Мир, 1984. 269 с.

<sup>27</sup> Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. Москва : Стройиздат, 1981. 464с

<sup>28</sup> Кузнецов А.М. Технология вяжущих веществ и изделий из них. Москва : Высш.шк., 1963. 455 с



**Рис. 18. Зміна властивостей дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», що містить 80% портландцементного клінкеру, 20% кварцово-залізо-карбонатної гірської породи та 0,0004% олеату натрію від їх маси, в контактному шарі з бетонною поверхнею в залежності від відносного водонасичення бетонної поверхні**

Подальше збільшення насичення водою бетонної поверхні призводить до збільшення на ній товщини шару води, яка вже має властивості звичайної рідини. Це збільшує відстань між частинками дисперсної системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» та бетонною поверхнею, що знижує кількість їх контактів.

Таким чином, за інших рівних умов збільшення вологості бетонної поверхні до такого ступеня, коли товщина шару води на ній досягає такої величини, коли бетонна поверхня вже практично не впливає на властивості адсорбованої на ній води, призводить до зниження величини адгезії до її дисперсної поверхні системи «портландцементний клінкер – комплексна ПАР».

Отже, дисперсна система «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» має підвищену адгезію до бетонної поверхні будівельної конструкції за рахунок підвищеного ступеня адсорбції компонентів системи на бетонній поверхні та ступеня проникнення системи в пори цієї поверхні.

#### **4. Вплив виду та кількості комплексного ПАР у дисперсній системі «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» на величину її адгезії до металу**

Посилення залізобетонних конструкцій досить часто проводиться шляхом установки металевих підсилювальних елементів або з'єднанням конструкції, що посилюється, з елементами посилення за допомогою металевих елементів. Після чого ці металеві елементи бетонуються<sup>29,30,31,32</sup>. Крім того, при посиленні будівельних конструкцій залізобетонними елементами необхідно забезпечувати високу міцність зчеплення бетону підсилюючого елемента з його арматурою.

Величина адгезії визначалася шляхом випробувань на відрив дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» від металевої поверхні будівельних конструкцій за методикою, прийнятою визначення адгезії цієї системи до бетону (рис. 1).

У цій групі експериментів досліджено зміну величини адгезії дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» до металу залежно від виду та кількості грубодисперсних та колоїдних ПАР у дисперсній системі та стану металевої поверхні.

При проведенні експериментів використовувалося шлаколузне в'язуче, отримане на основі доменного гранульованого шлаку ПрАТ Міталстіл Кривий Ріг, зачиненого рідким склом щільністю 1200 кг/м<sup>3</sup> із силікатним модулем 1,5 і портландцементний клінкер Криворізького цементного комбінату. Як гідрофільну грубодисперсну ПАР застосовували оксид і карбонат заліза, оксид марганцю та кварцово-залізо-карбонатні гірські породи Криворізького родовища (КЖКП). Як колоїдну ПАР застосовували олеат натрію.

Приготування дисперсної системи проводилося шляхом перемішування її компонентів лабораторної мішалці протягом 5 хв.

В умовах проведення експерименту дисперсні системи, як «портландцементний клінкер – гідрофільна грубодисперсна ПАР»

---

<sup>29</sup> Большаков В.И., Деревянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск: Gaudeamus, 2001. 231 с.

<sup>30</sup> Пшійнько О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд: монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2000. 411 с.

<sup>31</sup> Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Москва: Стройиздат, 1991. 767 с.

<sup>32</sup> Перкинс Ф. Железобетонные сооружения. Ремонт, гидроизоляция и защита. Москва: Стройиздат, 1980. 256 с.

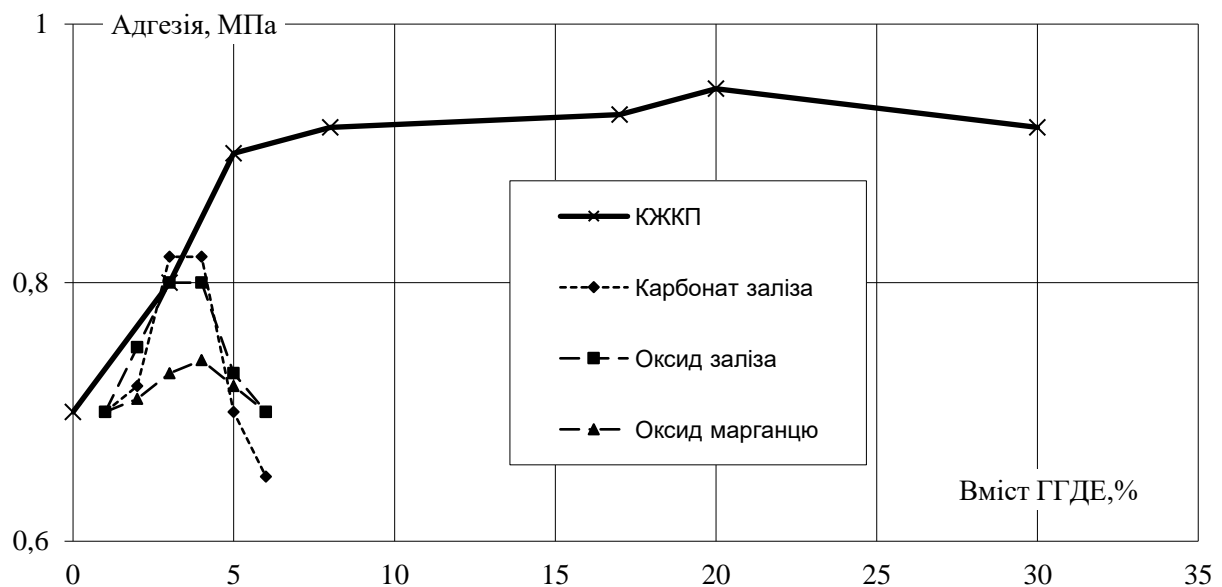
(рис. 19) так і «шлаколувне в'яжуче – гідрофільна грубодисперсна ПАР» (рис. 20) мають більш високу адгезію до металу в порівнянні з бездобавочним портландцементом.

Практично для всіх видів застосованих в експериментах гідрофільних грубодисперсних ПАР існує їх вміст у системі, що відповідає максимальній величині адгезії. Однак найбільшу адгезію має дисперсна система, для отримання якої як грубодисперсна ПАР використовувалася кварцово-залізо-карбонатна порода.

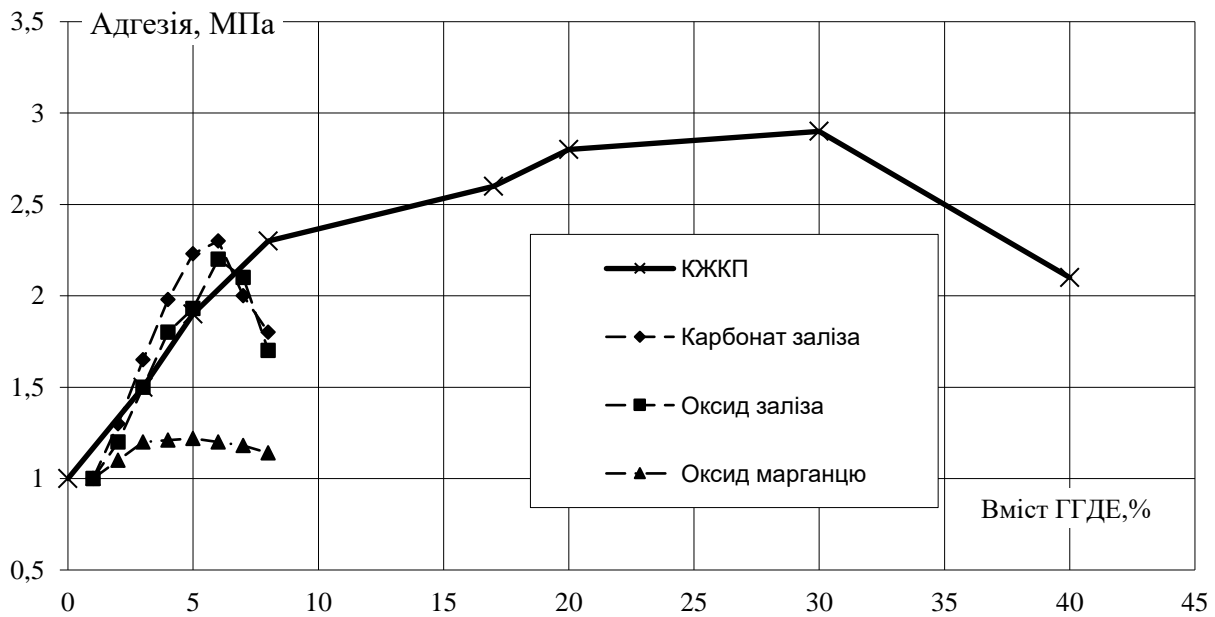
У разі проведення експерименту дисперсні системи, як «портландцементний клінкер – комплексна ПАР» (рис. 21), і «шлаколувне в'яжуче – комплексна ПАР» (рис. 22) мають підвищену, щодо відповідних бездодаткових в'яжучих, адгезією до металу.

Також, як і при нанесенні дисперсної системи «гідралічне в'яжуче – комплексна ПАР» на поверхню бетону, при її нанесенні на металеву поверхню існує певний вміст у ній колоїдної ПАР, що забезпечує максимальну величину адгезії.

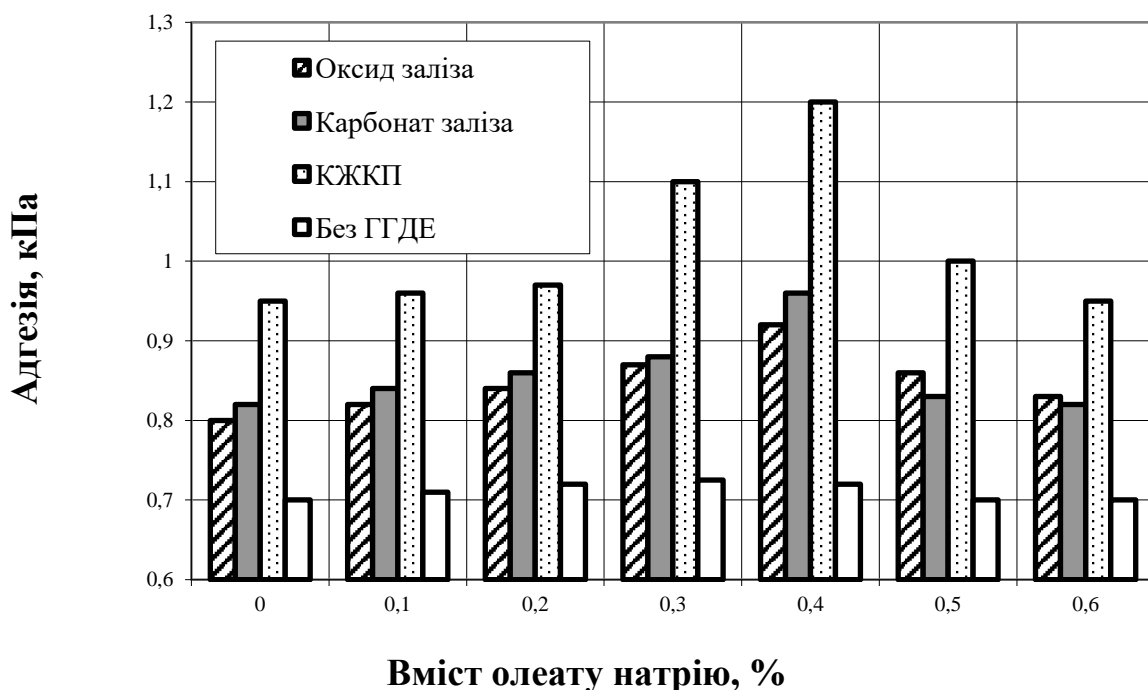
Це з проявом дифільності цієї ПАР, тобто здібності при зміні його концентрації в системі, що розглядається, переходити з гідрофобної в гідрофільну. При збільшенні концентрації цієї ПАР в системі до певної межі вона гідрофобізує частинки гідралічного в'яжучого, що призводить до зменшення товщини прошарків води навколо них, що сприяє збільшенню числа їх контактів з поверхнею конструкції.



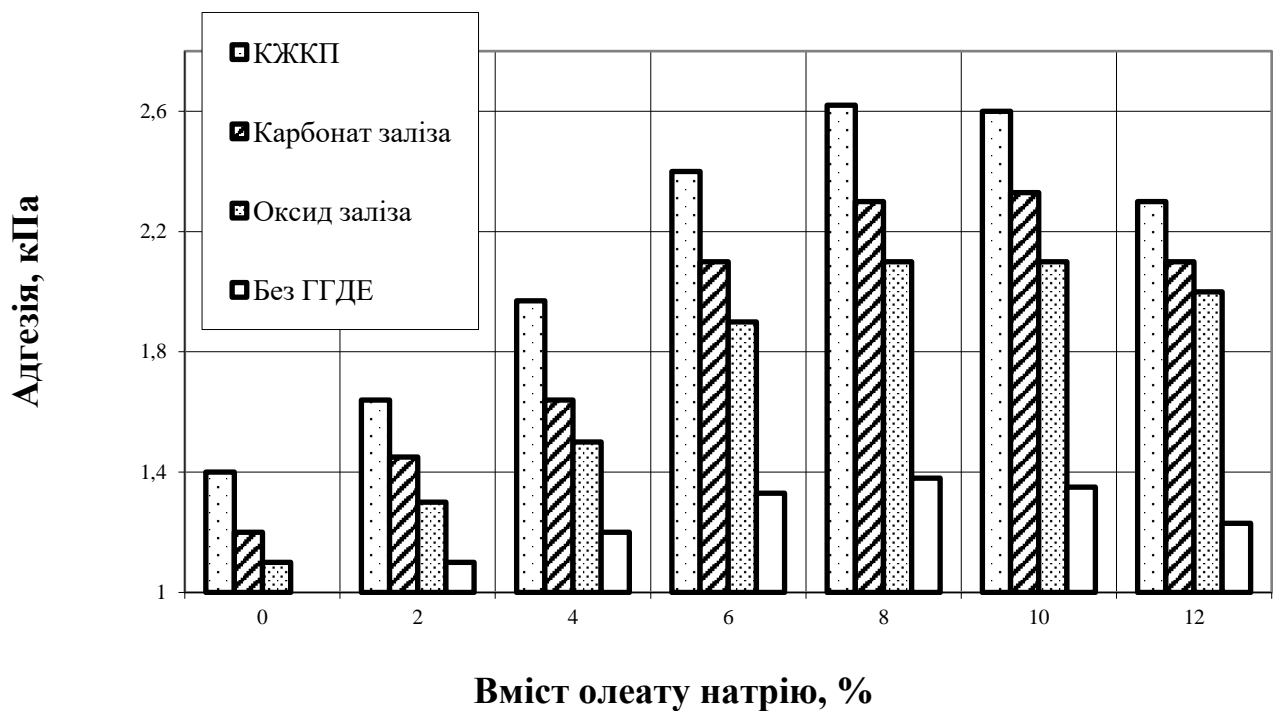
**Рис. 19. Вплив виду та вмісту гідрофільних грубодисперсних ПАР (ГГДЕ) на величину адгезії до металу дисперсної системи «портландцементний клінкер – гідрофільна грубодисперсна ПАР» (В/Ц=0,35, 28 діб твердіння в нормальних умовах)**



**Рис. 20.** Вплив виду та вмісту гідрофільних грубодисперсних ПАР (ГГДЕ) на величину адгезії до металу дисперсної системи «шлаколузне в'язуче гідрофільна грубодисперсна ПАР» (Щільність рідкого скла 1250 кг/м<sup>3</sup> і силікатний модуль 1,5)



**Рис. 21.** Вплив вмісту олеату натрію в дисперсній системі «портландцементний клінкер – комплексна ПАР», на величину її адгезії до металу (Зміст грубодисперсного ПАР (ГГДЕ) – 20%)



**Рис. 22. Вплив вмісту олеату натрію в дисперсній системі «шлаколушний в'язуче – комплексна ПАР» на величину її адгезії до металу (Рідке скло щільністю 1250 кг/м<sup>3</sup>, силікатним модулем 1,5 вміст грубодисперсної ПАР (ГГДЕ) – 20%)**

При досягненні концентрації цієї ПАР, що відповідає порогу її міцелоутворення, вона перетворюється на гідрофільну ПАР щодо частинок гідралічного в'язучого, зумовлюючи утворення на них товстих прошарків води, що зменшує кількість їх контактів з поверхнею будівельної конструкції. Зміна кількості контактів призводить до зміни величини адгезії.

Таким чином, дисперсна система «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР», отримана як на основі портландцементного клінкеру, так і на основі шлаколужного в'язучого, має підвищену адгезію до металу за рахунок модифікації поверхні частинок гідралічного в'язучого. При цьому використання в якості гідрофільної грубодисперсної ПАР суміші оксиду і карбонату заліза забезпечує найбільшу величину адгезії даної системи до металу.

### **5. Зміна в часі величини адгезії дисперсної системи «гідралічне в'язуче – комплексна ПАР» до металу**

У цій групі експериментів досліджено ступінь адсорбції та склад адсорбованих на металевій поверхні будівельної конструкції дисперсної фази дисперсної системи «гідралічне в'язуче –

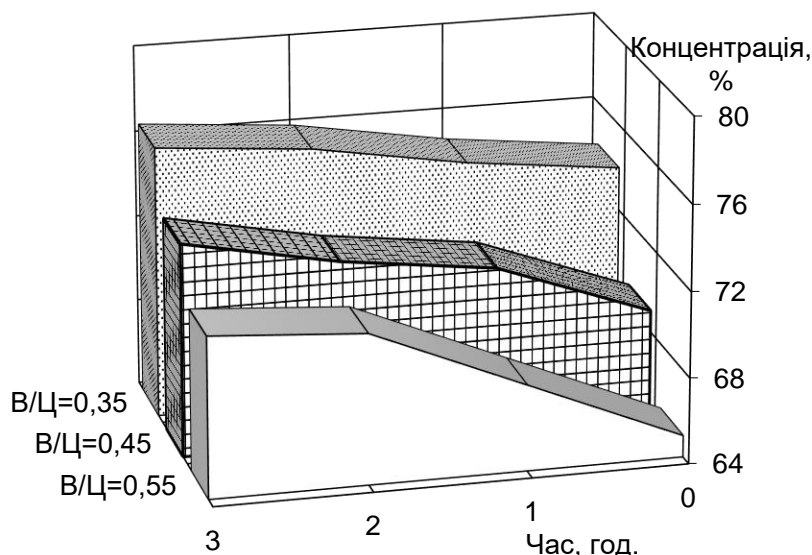


комплексна ПАР» залежно від водоцементного відношення в ній, виду та вмісту в ній комплексної ПАР.

Для отримання дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» як гідрофільну грубодисперсну ПАР, засновану на перехідних хімічних елементах, використовували кварцово-залізо-карбонатну гірську породу, що має співвідношення оксиду і карбонату заліза 1:1, а як колоїдну – олеат натрію.

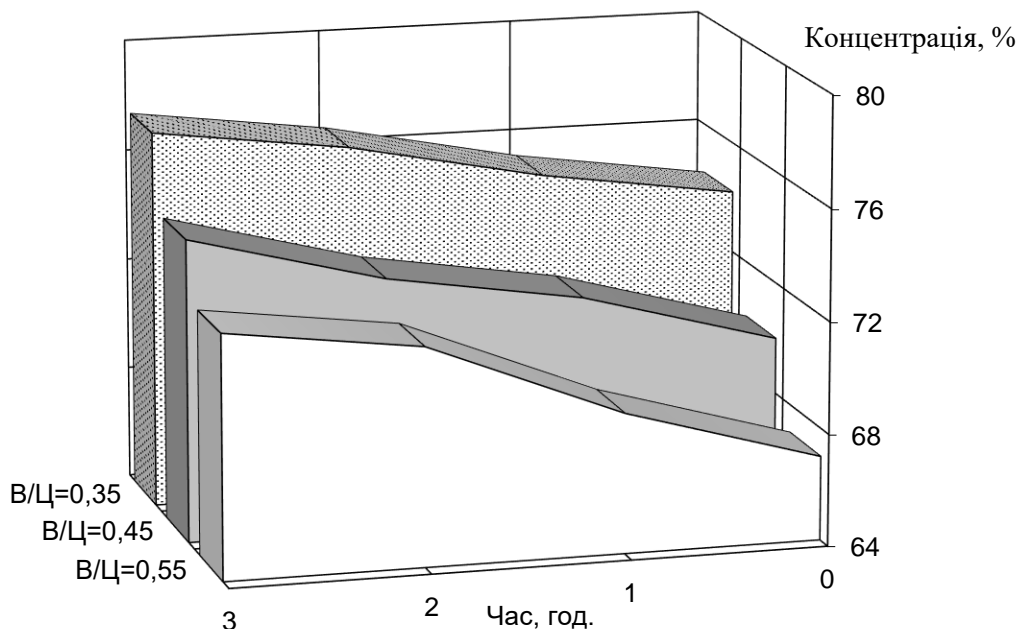
Визначення концентрації частинок дисперсної фази отриманої дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР» у її контактній зоні з металевою поверхнею будівельної конструкції виконувалося при нанесенні системи на бічну поверхню спеціально підготовлених металевих зразків.

В умовах проведення експерименту, при використанні дисперсних систем «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР»: містить 80% Криворізького портландцементного клінкеру, 20% кварцово-залізо-карбонатної гірської породи і 0,4% олеату натрію (рис. 23) і містить 80% шлаколужного в'язучого, отриманого на основі суміші меленого доменного гранульованого шлаку ПрАТ Міталстіл Кривий Ріг і 20% кварцово-залізо-карбонатної гірської породи, замішаних сумішшю рідкого скла, що має силікатний модуль 1,5 і щільність 1250 кг/м<sup>3</sup> з олеатом натрію. дисперсної фази в'язучого) (рис. 24), з часом у контактному шарі збільшується кількість дисперсної фази дисперсної системи «гідравлічне в'язуче – комплексна ПАР».



**Рис. 23. Зміна концентрації дисперсної фази дисперсної системи містить 80% портландцементного клінкеру, 20% кварцово-залізо-карбонатної породи та 0,4 % олеату натрію від їх маси, у її контактному шарі з металом**

У всіх випадках з часом у межах експерименту біля поверхні металу підвищується концентрація оксидів заліза, кальцію та кремнію, що встановлено методами хімічного аналізу, що виконувались за методикою<sup>33</sup> [16].



**Рис. 24. Зміна концентрації дисперсної фази дисперсної системи, що містить 80% шлаколузного в'язучого на рідкому склі щільністю 1320 кг/м<sup>3</sup>, 20% кварцово-залізо-карбонатної породи та 0,4 % олеату натрію від їхньої маси, до неї контактному шарі з металевою поверхнею**

Отримані результати можна пояснити таким. Як впливає з літературних даних, гідрофобні або гідрофільні ПАР впорядковують структуру води, що полегшує переміщення протонів і іонів гідроксилу по сітці водневих зв'язків (естафетний механізм електропровідності). При додаванні грубодисперсної або колоїдної гідрофільної ПАР до води вони заповнюють порожнечі між кластерами води, що приводить до їх стабілізації. При цьому гідрофільні групи ПАР можуть заміщати молекули води в локальних утвореннях. Тобто у присутності гідрофільної ПАР, через гідрофобні взаємодії, вода вже частково структурована. При введенні у воду або гідрофільної ПАР (МПАР) відбувається остаточна структуризація води. У міру збільшення концентрації молекул МПАР настає їх колективна асоціація. В цьому

<sup>33</sup> Бутт Ю. М. Лабораторный практикум по технологии вяжущих веществ. Москва, Высш. шк., 1971. 467 с.

випадку спочатку утворюються групи з двох молекул МПАР – так звані «дімери», які й зумовлюють максимальну стабілізацію води. Введенням у воду молекул олеату натрію за рахунок гідрофобної гідратації відбувається структурування води, тобто утворення безперервної фрактальної сітки з молекул води. Гідрофобна гідратація як різновид гідрофобних взаємодій виявляється в разі складних органічних іонів і молекул ряду неелектролітів. Вона зумовлюється гальмуючою дією розчинених частинок на трансляційний рух молекул води розчину. На відміну від гідрофільної, гідрофобна гідратація не є наслідком посиленої взаємодії молекул води і розчиненої речовини, а скоріше виникає в результаті посилення взаємодії між молекулами  $H_2O$ , сприяючи тим самим структуруванню вільної води. Гідрофобна гідратація, на відміну від гідрофільної, істотно залежить від структурного стану води: чим більше стабілізована власна структура води (попереднім введенням гідрофільної ПАР), тим сильніше виражений ефект гідрофобної гідратації. Локальна зміна концентрації гідроксильних груп поблизу наночастинок (дімерів МПАР) призводить до об'ємного ефекту зміни (зменшенню) рН, тобто підкисленню суспензії. Останнє й впливає на процеси гідратації мінералів цементу, викликаючи їх прискорене розчинення.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямі. Проведений аналіз, який базувався на даних літературних джерел та результатах власних досліджень, виявив вплив суміші колоїдних поверхнево-активних речовин (олеату натрію) та грубодисперсних гідрофільних ПАР на процеси формування структури бетону, що відбивається у пришвидшенні набуття ним міцності. Показано, що олеат натрію забезпечує приріст міцності зчеплення бетону на початку його твердіння, а грубодисперсна гідрофільна ПАР у більш віддалені терміни. Визначено, що механізм активації води сумішшю колоїдної та грубодисперсної ПАР відбувається за рахунок гідрофобної гідратації.

## **ВИСНОВКИ**

Таким чином, результатами виконаних досліджень визначено, що виготовлення бетонів для захисту, підсилення або відновлення композитних доків, а також інших, як плавучих, так і гідротехнічних споруд на основі як портландцементного клінкеру так і шлаколужного в'язучого, із застосуванням води, яку модифіковано сумішшю гідрофільної грубодисперсної, заснованої на перехідних хімічних елементах, і лужної молекулярно-колоїдної ПАР призводить до збільшення адгезії дисперсної системи «гідралічне в'язуче –

комплексна ПАР» як до бетонної поверхні, так і з металевою поверхнею за рахунок збільшення кількості і міцності контактів. Це, у свою чергу, відбувається за рахунок підвищеної адсорбції компонентів цієї системи на конструкції.

### **АНОТАЦІЯ**

В процесі експлуатації конструкції композитних доків, а також інших, як плавучих, так і гідротехнічних споруд, піддаються впливу навколишнього середовища. В наслідок цього відбувається руйнація матеріалів, з яких виготовлені означені споруди. Для ремонту, підсилення або відновлення достатньо ефективно застосовувати спеціальні бетони. Результатами досліджень доведено, що для ремонту та підсилення конструкцій гідротехнічних споруд ефективно застосування спеціальних бетонів, які модифіковані поверхнево-активними речовинами, або їх сумішшю. Спільна робота конструкції, що посилюється, і бетону, з якого виготовляються елементи її посилення, забезпечується якістю їх контактної зони, які, згідно, характеризуються, насамперед, суцільністю контакту та його міцністю. Визначено, що бетони, виготовлені на модифікованій поверхнево-активними речовинами воді, мають високу міцність зчеплення як із звичайним бетоном, так і з металевою поверхнею. Найбільш ефективно в даному випадку застосування суміші грубодисперсної гідрофільної та колоїдної гідрофобної поверхнево-активних речовин. Ефект від застосування означеної суміші поверхнево-активних речовин перевершує ефект від застосування кожної з них окремо.

### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Большаков В.И., Дервянко В.Н. Дисперсно-армированные покрытия строительных конструкций и технологического оборудования. Днепропетровск, 2001. 231 с.
2. Пшінько О.М. Підводне бетонування та ремонт штучних споруд. Дніпропетровськ, 2000. 411 с.
3. Руденко Н.Н. Тяжелые бетоны с высокими эксплуатационными свойствами. Днепропетровск, 1999. 260 с.
4. Джейкок М., Парфит Дж., Химия поверхностей раздела фаз: Пер. с англ. Москва, 1984. 269 с.
5. Хаютин Ю.Г. Монолитный бетон. Москва, 1981. 447 с.
6. Кузнецов А.М. Технология вяжущих веществ и изделий из них. Москва, 1963. 455 с.

7. Шишкин А.А., Герасимова Е.В. Бетоны с комплексной полимерной добавкой на основе железа и органических соединений. *Строительство. Материаловедение. Машиностроение*, № 37. Днепропетровск, 2006, С. 542–548.

8. Шишкин А.А. Минерально-органические композиции на основе соединений d-элементов для ремонта железобетонных конструкций. *Будівельні конструкції*. вип.72, Київ, 2009, С. 371–379.

9. Шишкин А.А. Щелочные реакционные порошковые бетоны *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. 2(17). С. 56–65.

10. Shishkin A., Shishkina A., Vatin N. Low-shrinkage alcohol cement concrete. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. Vols. 633-634. pp. 917–921.

11. Шишкін О.О. Дослідження впливу сполук перехідних елементів на міцелярний каталіз формування міцності реакційного порошкового бетону *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2016. 2/6 (80). С. 60–65.

12. Шишкин А. А. Мирсков В. В. Повышение прочности контактной зоны бетонов усиления и усиливаемой конструкции. *Новітні технології, обладнання та системи управління в будівництві*, 2016. С. 11–15.

13. Шишкіна О.О, Шишкін О.О. Дрібнозернистий бетон для ремонту гідротехнічних споруд. *Shipbuilding&marine infrastructure*. 2020.2(4). С. 30-37.

14. Бутт Ю. М. Лабораторный практикум по технологии вяжущих веществ. Москва, 1971. 467 с.

15. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона. Москва, 1981. 464 с.

16. Байков В.Н., Сигалов Э.Е. Железобетонные конструкции. Москва, 1991. 767 с.

17. Перкинс Ф. Железобетонные сооружения. Ремонт, гидроизоляция и защита. Москва, 1980. 256 с.

#### **Information about the authors:**

**Shyshkin Oleksander Oleksiyovych,**

Doctor of technical sciences, Professor,

Head of the Department of Technology of Building Products,

Materials and Structures

National University of Kryvyi Rih

11, V. Matusevicha str., Kryvyi Rih,

Dnipropetrovsk region, 50027, Ukraine