

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОРГАНО-КРЕМНЕЗЕМИСТИХ ДОБАВОК НА МІЦНІСТЬ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИЦІЙ

Пушкарьова К.К., *д. т. н., професор*, Каверин К.О. *аспірант*,

*Київський національний університет будівництва і архітектури,  
Україна*

### Вступ

В середині 80-х років у світовій будівельній практиці з'явилися бетони з високими експлуатаційними властивостями. Для них характерна висока міцність при стиску (60...150 МПа), підвищена корозійна стійкість і довговічність. Ключовим фактором технології виробництва було поєднання високоактивної мінеральної добавки — мікрокремнезему та суперпластифікатора, що дало поштовх до створення бетонів нового покоління [1-7].

Проблемою модифікації цементних матриць комплексними добавками на основі суперпластифікаторів та мікрокремнезему займалися В.Г. Батраков [1], Ю. М. Баженов [2, 3], В. І. Калашников [3], Л. Й. Дворкін [4] та інші.

При цьому було встановлено, що в досліджуваних в'язучих системах сумісна дія портландцементу та комплексної органо-кремнеземистої добавки обумовлена направленим процесом формування в структурі цементних композицій низькоосновних гідросилікатів кальцію CSH(I), які сприяють формуванню більш досконалої мікроструктури цементного каменю. Також відмічається, що міцність контактної зони зростає при збільшенні кількості введеного мікрокремнезему, але питання сумісності роботи мікрокремнезему з різними видами суперпластифікаторів, які використовують у сучасних в'язучих системах, досліджено частково. Особливо актуальним це питання стає при оптимізації складу матриці високоміцних легких бетонів, оскільки міцнісні показники в цьому випадку визначаються саме цементною матрицею, а не заповнювачем.

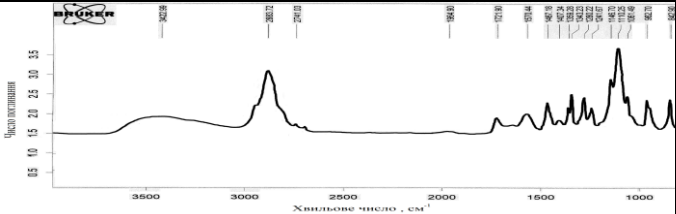
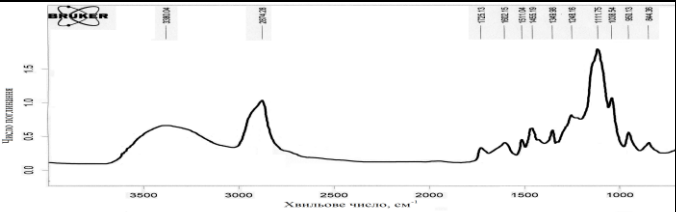
### Вихідні матеріали та методи досліджень

Як вихідні сировинні матеріали в дослідженнях використовували портландцемент ПЦ І 500–Н, суперпластифікатори різних торгових марок на основі полікарбоксилатів (SikaPlast 555W, MC PowerFlow 3100), які за результатами ІЧ-спектроскопії (табл. 1) отримані на основі поліетиленгліколів, а саме: MC PowerFlow 3100 містить поліетиленглі-

коль з молекулярною масою 3000, що в своєму складі має поліетилен-поліамін (ПЕПА), SikaPlast 555W — поліетиленгліколь з молекулярною масою 1000, що в своєму складі містить поліакриламід; тонкодисперсні кремнеземисті добавки: побічні продукти Стаханівського феросплавного заводу ( $S_{\text{пит}}=36398 \text{ см}^2/\text{г}$ ), ВАТ «АрселорМіттал Кривий ріг» ( $S_{\text{пит}}=9478 \text{ см}^2/\text{г}$ ) та продукти торгових марок Elkem Microsilica Grade 940-U ( $S_{\text{пит}}=24795 \text{ см}^2/\text{г}$ ) і SikaFume ( $S_{\text{пит}}=8556 \text{ см}^2/\text{г}$ ), тонкомелене ніздрювате скло «МНС» ( $S_{\text{пит}}=10485 \text{ см}^2/\text{г}$ ) та трепел Коноплянського родовища, помелений до питомої поверхні ( $S_{\text{пит}}=21300 \text{ см}^2/\text{г}$ ). Помел кремнеземистих матеріалів (ніздрювате скло, трепел) здійснювали в шаровому млині протягом 2 годин.

Таблиця 1

Характеристика полікарбоксилатних добавок

| Назва добавки     | Інфрачервоні спектри   |
|-------------------|--|
| MC PowerFlow 3100 |  <p>D:\MEAS\Dopoint\Kolench\MC Power Flow 3100.dry.0 MC Power Flow 3100.dry NacCl Page 1/1 28/10/2014</p> |
| Sika Plast 555W   |  <p>D:\MEAS\Dopoint\Kolench\Sika Plast 555W.1 Sika Plast 555W NacCl Page 1/1 28/10/2014</p>              |

Дослідження проводили з використанням комплексу фізико-механічних методів досліджень згідно діючих нормативних документів. Суперпластифікатори вводили у кількості 0,5%, 1,0% та 1,5%, а мікрокремнезем – у кількості 5%, 10% і 15% від маси цементу. Визначення кінетики зміни міцності проводили на зразках-кубах розмірами 2×2×2 см, що тверділи в стандартних умовах протягом 3, 7 та 28 діб. Водоцементне відношення (В/Ц) для зразків-кубів на основі

портландцементу, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою, становило 0,24.

**Результати досліджень** фізико-механічних характеристик цементних зразків-кубів на основі портландцементу ПЦ 500-I-Н, модифікованого комплексною органо-кремнеземистою добавкою представлені в таблиці 2. При введенні даних суперпластифікаторів в кількості 0,5...1,5% від маси цементу (таблиця 2, склад № 2..7) можна відмітити, що на ранніх етапах твердіння (3, 7 доба) найбільший приріст міцності спостерігається при використанні добавки суперпластифікатора MC PowerFlow 3100 (таблиця 2, склад № 2..4), при цьому міцність при стиску на третю добу досягає 68,75 МПа (склад № 3), що в 4,7 рази більше міцності контрольних зразків. На пізніх етапах твердіння (28 доба) найбільш ефективною є добавка суперпластифікатора SikaPlast 555W (таблиця 2, склад № 6..7), введення якої дало змогу підвищити міцність при стиску до 100,9 МПа (склад № 7), що в 2 рази перевищує міцність контрольних зразків.

Наступним кроком досліджень було визначення сумісності роботи полікарбоксилатного суперпластифікатора та різних видів кремнеземистих добавок (таблиця 2, склад № 8..43) при модифікації вищевказаних цементних матриць.

Аналіз отриманих даних дозволяє зазначити, що при введенні до модифікованої цементної матриці кремнеземистої добавки міцність при стиску в ранні терміни зростає від 2 до 55%, а на 28 добу — до 30% залежно від виду і кількості кремнезему, а також суперпластифікатора.

Міцність зразків в разі використання суперпластифікатора MC PowerFlow 3100 при введенні різних видів кремнеземистих добавок (таблиця 2, склад № 8-10, 14-16, 20-22, 26-28, 32-34, 38-40) збільшується в такому порядку:

**на 3 добу**

«Elkem Microsilica Grade 940-U»(75,9 МПа) > «МНС»(78 МПа) > «АрселорМіттал Кривий ріг» (79,5 МПа) > «Стаханівський» (88,3 МПа) > «Трепел» (95,8 МПа);

**на 7 добу**

«МНС» (82,5 МПа) > «Стаханівський» (84,6 МПа) > «SikaFume» (87,3 МПа) > «Elkem Microsilica Grade 940-U» (87,4 МПа) > «Арселор-Міттал Кривий ріг» (102,6 МПа) > «Трепел» (110,2 МПа);

**на 28 добу**

«МНС» (93,9 МПа) > «SikaFume» (99,6 МПа) > «Elkem Microsilica Grade 940-U» (100 МПа) > «АрселорМіттал Кривий ріг» (105,7 МПа) > «Стаханівський» (107,5 МПа) > «Трепел» (110,2 МПа).

В разі використання суперпластифікатора SikaPlast 555W міцність зразків при введенні різних видів кремнеземистих добавок (таблиця 2, склад № 11-13, 17-19, 23-225, 29-31, 35-37, 41-43) збільшується в такому порядку:

**на 3 добу**

«Стаханівський» (74 МПа) > «МНС»(78,4 МПа) > «SikaFume» (78,9 МПа) > «Трепел» (80,3 МПа) > «АрселорМіттал Кривий ріг» (84,3 МПа) > «Elkem Microsilica Grade 940-U» (91,1 МПа);

**на 7 добу**

«МНС»(81,9 МПа) > «SikaFume» (91,1 МПа) > «Elkem Microsilica Grade 940-U» (91,3 МПа) > «Стаханівський» (95,7 МПа) > «АрселорМіттал Кривий ріг» (99,6 МПа) > «Трепел» (99,6 МПа);

**на 28 добу**

«SikaFume» (98,9 МПа) > «МНС»(100 МПа) > «Стаханівський» (103,7 МПа) > «Трепел» (106,5 МПа) > «АрселорМіттал Кривий ріг» (108,9 МПа) > «Elkem Microsilica Grade 940-U» (110,4 МПа).

Аналіз наведених рядів зміни міцності дозволяє відзначити, що високомолекулярна добавка PowerFlow 3100 краще співпрацює з природними кремнеземистими добавками, в тому числі з трепелом, а низькомолекулярна добавка SikaPlast 555W — з технічними кремнеземами, а саме Elkem Microsilica Grade 940-U.

Якщо порівнювати дані результати з міцністю бездобавочних зразків (таблиця 2, склад № 1), то модифікація цементної матриці комплексною органо-кремнеземистою добавкою сприяє збільшенню міцності на 3 добу у 6 разів, на 7 добу – у 3 рази та 28 добу – у 2 рази.

Порівнюючи діаграми результатів кінетики зміни міцності цементного каменю у часі при стиску можна стверджувати, що найбільш ефективною і оптимальною виявилася комплексна органо-кремнеземиста добавка на основі суперпластифікатора MC PowerFlow 3100 в кількості 1% від маси цементу і молотого трепелу в кількості 5% від маси цементу. Міцність при стиску зразків складає у віці 3 діб — 95,8 МПа, у віці 7 діб – 110,2 МПа та у віці 28 діб – 116,4 МПа (склад № 38).

Розроблені склади цементних матриць, модифікованих комплексною органо-мінеральною добавкою, можуть бути використані як для отримання легких, так і важких бетонів, а також бетонів спеціального призначення.

### ***Висновки***

1. Встановлено, що цементні системи, які були модифіковані полікарбоксилатним суперпластифікатором MC PowerFlow 3100 забезпечують інтенсивний приріст міцності на ранніх етапах твердіння, а ви-

користання суперластифікатора SikaPlast 555W дає інтенсивний набір міцності цементного каменю на пізніх етапах твердіння.

Таблиця 2

Склади в'язучих речовин, модифікованих полікарбоксилатними добавками та кінетика зміни міцності цементного каменю у часі

| № складу    | Цемент ПЦІ 500-Н, мас. % | Кремнезем       |        | Суперластифікатор |        | В/Ц   | Графічна інтерпретація зміни міцності у часі   |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
|-------------|--------------------------|-----------------|--------|-------------------|--------|-------|--|-------------|--------|-----|-------|----|---|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|-------|-------|
|             |                          | назва           | мас. % | назва             | мас. % |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 1           | 100                      | -               | -      | -                 | -      | 0,4   | <table border="1"> <caption>Strength development for samples 1-4 (MPa)</caption> <thead> <tr> <th>Time (days)</th> <th>1.50%</th> <th>1%</th> <th>0.50%</th> <th>0%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>64.92</td> <td>58.75</td> <td>62.58</td> <td>14.40</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>63.00</td> <td>71.68</td> <td>81.50</td> <td>31.90</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>84.30</td> <td>87.50</td> <td>84.33</td> <td>47.7</td> </tr> </tbody> </table>    | Time (days) | 1.50%  | 1%  | 0.50% | 0% | 3 | 64.92 | 58.75 | 62.58 | 14.40 | 7 | 63.00 | 71.68 | 81.50 | 31.90 | 28 | 84.30 | 87.50 | 84.33 | 47.7  |
| Time (days) | 1.50%                    | 1%              | 0.50%  | 0%                |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 3           | 64.92                    | 58.75           | 62.58  | 14.40             |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 7           | 63.00                    | 71.68           | 81.50  | 31.90             |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 28          | 84.30                    | 87.50           | 84.33  | 47.7              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 2           | 100                      | -               | -      | МС PF 3100        | 0,5    | 0,24  |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 3           | 100                      | -               | -      |                   | 1      | 0,24  |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 4           | 100                      | -               | -      |                   | 1,5    | 0,24  |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 5           | 100                      | -               | -      | SikaPlast 555w    | 0,5    | 0,24  | <table border="1"> <caption>Strength development for samples 5-7 (MPa)</caption> <thead> <tr> <th>Time (days)</th> <th>1.50%</th> <th>1%</th> <th>0.50%</th> <th>0%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>58.75</td> <td>57.08</td> <td>43.08</td> <td>14.40</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>64.33</td> <td>78.50</td> <td>54.67</td> <td>31.90</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>100.9</td> <td>97.4</td> <td>76</td> <td>47.7</td> </tr> </tbody> </table>        | Time (days) | 1.50%  | 1%  | 0.50% | 0% | 3 | 58.75 | 57.08 | 43.08 | 14.40 | 7 | 64.33 | 78.50 | 54.67 | 31.90 | 28 | 100.9 | 97.4  | 76    | 47.7  |
| Time (days) | 1.50%                    | 1%              | 0.50%  |                   | 0%     |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 3           | 58.75                    | 57.08           | 43.08  |                   | 14.40  |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 7           | 64.33                    | 78.50           | 54.67  | 31.90             |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 28          | 100.9                    | 97.4            | 76     | 47.7              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 6           | 100                      | -               | -      | 1                 | 0,24   |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 7           | 100                      | -               | -      | 1,5               | 0,24   |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 8           | 100                      | «Стаханівський» | 5      | МС PF 3100        | 1      | 0,24  | <table border="1"> <caption>Strength development for samples 8-10 (MPa)</caption> <thead> <tr> <th>Time (days)</th> <th>15%</th> <th>10%</th> <th>5%</th> <th>0%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>88.30</td> <td>73.60</td> <td>64.75</td> <td>64.75</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>84.60</td> <td>82.50</td> <td>77.40</td> <td>71.68</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>107.5</td> <td>100.5</td> <td>87.9</td> <td>87.5</td> </tr> </tbody> </table>        | Time (days) | 15%    | 10% | 5%    | 0% | 3 | 88.30 | 73.60 | 64.75 | 64.75 | 7 | 84.60 | 82.50 | 77.40 | 71.68 | 28 | 107.5 | 100.5 | 87.9  | 87.5  |
| Time (days) | 15%                      |                 | 10%    |                   | 5%     | 0%    |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 3           | 88.30                    |                 | 73.60  |                   | 64.75  | 64.75 |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 7           | 84.60                    |                 | 82.50  |                   | 77.40  | 71.68 |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 28          | 107.5                    | 100.5           | 87.9   | 87.5              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 9           | 100                      | 10              | 1      | 0,24              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 10          | 100                      | 15              | 1      | 0,24              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 11          | 100                      | «Стаханівський» | 5      | SikaPlast 555w    | 1,5    | 0,24  | <table border="1"> <caption>Strength development for samples 11-13 (MPa)</caption> <thead> <tr> <th>Time (days)</th> <th>15.00%</th> <th>10%</th> <th>5.00%</th> <th>0%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3</td> <td>84.00</td> <td>74.60</td> <td>64.00</td> <td>64.75</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>85.8</td> <td>95.20</td> <td>85.50</td> <td>64.33</td> </tr> <tr> <td>28</td> <td>80.9</td> <td>103.7</td> <td>100.9</td> <td>100.7</td> </tr> </tbody> </table> | Time (days) | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 84.00 | 74.60 | 64.00 | 64.75 | 7 | 85.8  | 95.20 | 85.50 | 64.33 | 28 | 80.9  | 103.7 | 100.9 | 100.7 |
| Time (days) | 15.00%                   |                 | 10%    |                   | 5.00%  | 0%    |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 3           | 84.00                    |                 | 74.60  |                   | 64.00  | 64.75 |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 7           | 85.8                     | 95.20           | 85.50  | 64.33             |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 28          | 80.9                     | 103.7           | 100.9  | 100.7             |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 12          | 100                      | 10              | 1,5    | 0,24              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |
| 13          | 100                      | 15              | 1,5    | 0,24              |        |       |  |             |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |       |       |

Продовження таблиці 2

| № складу | Цемент ПЦ I 500-Н, мас. % | Кремнезем                       |        | Суперпластифікатор |        | В/Ц   | Графічна інтерпретація зміни міцності у часі   |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
|----------|---------------------------|---------------------------------|--------|--------------------|--------|-------|--|-----|--------|-----|-------|----|---|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|--------|-------|----|--------|--------|--------|-------|
|          |                           | назва                           | мас. % | назва              | мас. % |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 14       | 100                       | «АрселорМіттал Кривий ріг»      | 5      | МС PF 3100         | 1      | 0,24  | <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, дб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5.00%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>78.60</td><td>76.60</td><td>79.60</td><td>68.75</td></tr> <tr><td>7</td><td>86.20</td><td>84.40</td><td>102.60</td><td>71.68</td></tr> <tr><td>28</td><td>89.40</td><td>88.10</td><td>105.70</td><td>87.5</td></tr> </table>   | Час | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 78.60 | 76.60 | 79.60 | 68.75 | 7 | 86.20 | 84.40 | 102.60 | 71.68 | 28 | 89.40  | 88.10  | 105.70 | 87.5  |
| Час      | 15.00%                    |                                 | 10%    |                    | 5.00%  | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 3        | 78.60                     |                                 | 76.60  |                    | 79.60  | 68.75 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 7        | 86.20                     | 84.40                           | 102.60 | 71.68              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 28       | 89.40                     | 88.10                           | 105.70 | 87.5               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 15       | 100                       | 10                              | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 16       | 100                       | 15                              | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 17       | 100                       | «АрселорМіттал Кривий ріг»      | 5      | SikaPlast 555w     | 1,5    | 0,24  | <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, дб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5.00%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>84.30</td><td>79.60</td><td>79.60</td><td>58.75</td></tr> <tr><td>7</td><td>86.80</td><td>84.90</td><td>99.60</td><td>64.33</td></tr> <tr><td>28</td><td>103.10</td><td>86.30</td><td>106.90</td><td>90.9</td></tr> </table>   | Час | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 84.30 | 79.60 | 79.60 | 58.75 | 7 | 86.80 | 84.90 | 99.60  | 64.33 | 28 | 103.10 | 86.30  | 106.90 | 90.9  |
| Час      | 15.00%                    |                                 | 10%    |                    | 5.00%  | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 3        | 84.30                     |                                 | 79.60  |                    | 79.60  | 58.75 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 7        | 86.80                     | 84.90                           | 99.60  | 64.33              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 28       | 103.10                    | 86.30                           | 106.90 | 90.9               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 18       | 100                       | 10                              | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 19       | 100                       | 15                              | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 20       | 100                       | «Elkem Microsilica Grade 940-U» | 5      | МС PF 3100         | 1      | 0,24  | <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, дб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>63.96</td><td>70.09</td><td>71.75</td><td>71.75</td></tr> <tr><td>7</td><td>75.90</td><td>87.40</td><td>84.10</td><td>71.68</td></tr> <tr><td>28</td><td>85.40</td><td>85.40</td><td>92.70</td><td>97.5</td></tr> </table>        | Час | 15.00% | 10% | 5%    | 0% | 3 | 63.96 | 70.09 | 71.75 | 71.75 | 7 | 75.90 | 87.40 | 84.10  | 71.68 | 28 | 85.40  | 85.40  | 92.70  | 97.5  |
| Час      | 15.00%                    |                                 | 10%    |                    | 5%     | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 3        | 63.96                     |                                 | 70.09  |                    | 71.75  | 71.75 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 7        | 75.90                     | 87.40                           | 84.10  | 71.68              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 28       | 85.40                     | 85.40                           | 92.70  | 97.5               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 21       | 100                       | 10                              | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 22       | 100                       | 15                              | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 23       | 100                       | «Elkem Microsilica Grade 940-U» | 5      | SikaPlast 555w     | 1,5    | 0,24  | <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, дб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5.00%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>90.30</td><td>76.10</td><td>76.10</td><td>58.75</td></tr> <tr><td>7</td><td>89.10</td><td>89.10</td><td>91.30</td><td>64.33</td></tr> <tr><td>28</td><td>108.10</td><td>102.80</td><td>110.40</td><td>100.9</td></tr> </table> | Час | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 90.30 | 76.10 | 76.10 | 58.75 | 7 | 89.10 | 89.10 | 91.30  | 64.33 | 28 | 108.10 | 102.80 | 110.40 | 100.9 |
| Час      | 15.00%                    |                                 | 10%    |                    | 5.00%  | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 3        | 90.30                     |                                 | 76.10  |                    | 76.10  | 58.75 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 7        | 89.10                     | 89.10                           | 91.30  | 64.33              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 28       | 108.10                    | 102.80                          | 110.40 | 100.9              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 24       | 100                       | 10                              | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |
| 25       | 100                       | 15                              | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |        |       |    |        |        |        |       |

Продовження таблиці 2

| № складу | Цемент ПЦ І 500-Н, мас. % | Кремнезем  |        | Суперпластифікатор |        | В/Ц   | Графічна інтерпретація зміни міцності у часі   |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
|----------|---------------------------|------------|--------|--------------------|--------|-------|--|-----|--------|-----|-------|----|---|-------|-------|-------|-------|---|-------|-------|-------|-------|----|-------|-------|--------|-------|
|          |                           | назва      | мас. % | назва              | мас. % |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 26       | 100                       | «SikaFume» | 5      | МС PF 3100         | 1      | 0,24  | <p>■ 15% ■ 10% ■ 5% ■ 0%</p> <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15%</th><th>10%</th><th>5%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>65.40</td><td>63.50</td><td>79.50</td><td>68.75</td></tr> <tr><td>7</td><td>73.70</td><td>73.70</td><td>87.30</td><td>87.50</td></tr> <tr><td>28</td><td>88.10</td><td>97.00</td><td>99.60</td><td>87.5</td></tr> </table>               | Час | 15%    | 10% | 5%    | 0% | 3 | 65.40 | 63.50 | 79.50 | 68.75 | 7 | 73.70 | 73.70 | 87.30 | 87.50 | 28 | 88.10 | 97.00 | 99.60  | 87.5  |
| Час      | 15%                       |            | 10%    |                    | 5%     | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 3        | 65.40                     |            | 63.50  |                    | 79.50  | 68.75 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 7        | 73.70                     | 73.70      | 87.30  | 87.50              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 28       | 88.10                     | 97.00      | 99.60  | 87.5               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 27       | 100                       | 10         | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 28       | 100                       | 15         | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 29       | 100                       | «SikaFume» | 5      | SikaPlast 555w     | 1,5    | 0,24  | <p>■ 15.00% ■ 10% ■ 5.00% ■ 0%</p> <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5.00%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>65.41</td><td>78.90</td><td>58.75</td><td>65.41</td></tr> <tr><td>7</td><td>71.80</td><td>85.90</td><td>91.10</td><td>64.33</td></tr> <tr><td>28</td><td>81.70</td><td>88.10</td><td>98.0</td><td>100.9</td></tr> </table>   | Час | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 65.41 | 78.90 | 58.75 | 65.41 | 7 | 71.80 | 85.90 | 91.10 | 64.33 | 28 | 81.70 | 88.10 | 98.0   | 100.9 |
| Час      | 15.00%                    |            | 10%    |                    | 5.00%  | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 3        | 65.41                     |            | 78.90  |                    | 58.75  | 65.41 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 7        | 71.80                     | 85.90      | 91.10  | 64.33              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 28       | 81.70                     | 88.10      | 98.0   | 100.9              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 30       | 100                       | 10         | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 31       | 100                       | 15         | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 32       | 100                       | «МНС»      | 5      | МС PF 3100         | 1      | 0,24  | <p>■ 15.00% ■ 10% ■ 5.00% ■ 0%</p> <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5.00%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>73.30</td><td>78.00</td><td>73.75</td><td>73.30</td></tr> <tr><td>7</td><td>79.30</td><td>81.50</td><td>82.50</td><td>71.68</td></tr> <tr><td>28</td><td>85.50</td><td>89.90</td><td>99.0</td><td>87.5</td></tr> </table>    | Час | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 73.30 | 78.00 | 73.75 | 73.30 | 7 | 79.30 | 81.50 | 82.50 | 71.68 | 28 | 85.50 | 89.90 | 99.0   | 87.5  |
| Час      | 15.00%                    |            | 10%    |                    | 5.00%  | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 3        | 73.30                     |            | 78.00  |                    | 73.75  | 73.30 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 7        | 79.30                     | 81.50      | 82.50  | 71.68              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 28       | 85.50                     | 89.90      | 99.0   | 87.5               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 33       | 100                       | 10         | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 34       | 100                       | 15         | 1      | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 35       | 100                       | «МНС»      | 5      | SikaPlast 555w     | 1,5    | 0,24  | <p>■ 15.00% ■ 10% ■ 5.00% ■ 0%</p> <p>Міцність при стиску, МПа</p> <p>Час твердіння, діб</p> <table border="1"> <tr><th>Час</th><th>15.00%</th><th>10%</th><th>5.00%</th><th>0%</th></tr> <tr><td>3</td><td>69.70</td><td>74.80</td><td>58.75</td><td>69.70</td></tr> <tr><td>7</td><td>79.30</td><td>81.90</td><td>81.90</td><td>68.33</td></tr> <tr><td>28</td><td>80.50</td><td>86.50</td><td>100.00</td><td>100.9</td></tr> </table> | Час | 15.00% | 10% | 5.00% | 0% | 3 | 69.70 | 74.80 | 58.75 | 69.70 | 7 | 79.30 | 81.90 | 81.90 | 68.33 | 28 | 80.50 | 86.50 | 100.00 | 100.9 |
| Час      | 15.00%                    |            | 10%    |                    | 5.00%  | 0%    |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 3        | 69.70                     |            | 74.80  |                    | 58.75  | 69.70 |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 7        | 79.30                     | 81.90      | 81.90  | 68.33              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 28       | 80.50                     | 86.50      | 100.00 | 100.9              |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 36       | 100                       | 10         | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |
| 37       | 100                       | 15         | 1,5    | 0,24               |        |       |  |     |        |     |       |    |   |       |       |       |       |   |       |       |       |       |    |       |       |        |       |

Продовження таблиці 2

| № складу | Цемент ПЦ І 500-Н, мас. % | Кремнезем |        | Супер-пластифікатор |        | В/Ц  | Графічна інтерпретація зміни міцності у часі |
|----------|---------------------------|-----------|--------|---------------------|--------|------|--|
|          |                           | назва     | мас. % | назва               | мас. % |      |  |
| 38       | 100                       | «Трепел»  | 5      | МС PF 3100          | 1      | 0,24 |  |
| 39       | 100                       |           | 10     |                     | 1      | 0,24 |  |
| 40       | 100                       |           | 15     |                     | 1      | 0,24 |  |
| 41       | 100                       | «Трепел»  | 5      | SikaPlast 555w      | 1,5    | 0,24 |  |
| 42       | 100                       |           | 10     |                     | 1,5    | 0,24 |  |
| 43       | 100                       |           | 15     |                     | 1,5    | 0,24 |  |

2. Досліджено ефективність сумісної дії полікарбоксилатних суперпластифікаторів та кремнеземистих добавок різних видів і торгових марок та встановлено, що найбільше значення міцності досягається при використанні полікарбоксилатного суперпластифікатора МС PowerFlow 3100 в кількості 1% від маси цементу і молотого трепелу в кількості 5% від маси цементу. При введенні даної кремнеземистої добавки до цементної матриці модифікованої суперпластифікатором МС PowerFlow 3100 приріст міцності складає до 30 %, а якщо порівнювати з бездобавочними зразками, то застосування органо-кремнеземистої добавки дозволяє збільшити показники міцності зразків майже на 200% порівняно зі зразками на основі чистого портландцементу.



## Summary

**Article established the effectiveness of modifications by complex organo-mineral additive for cement matrix that can be used to obtain of light and heavy concrete and concrete for special purposes.**

## *Литература*

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика, изд. 2-е, переработанное и дополненное. - М. 1998. - 768 с.
2. Баженов Ю.М. Технология бетона. - М.: Изд-во АСВ, 2002. - 528с.
3. Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашников В.И. Модифицированные высококачественные бетоны. - М.: Изд-во АСВ, 2006. -380с.
4. Дворкин Л.И. Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Дворкин Л.И., Выровой В.Н. [и др.] — Киев, Будівельник, 1991. — 136 с.
5. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н. Высокопрочный бетон. - И.: Стройиздат, 1971. - 208с.
6. Волженский А. В. Минеральные вяжущие вещества / Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. — М.: Стройиздат, 1973. - 480 с.
7. Пашенко О. О. В'яжучі матеріали / Пашенко О. О., Сербін В. П., Старчевська О.О. — К.: Вища школа, 1995. - 416 с.