

Винахід відноситься до способів визначення складу бетону і може знайти застосування в будівництві та промисловості будівельної індустрії.

Відомий спосіб визначення складу бетонної суміші [Баженов Ю.М. Технологія бетону.- М: Высшая школа, 1987.- 425 с], що включає визначення густини і пустотності щебеню, піску і цементу, визначення вмісту води замішування, виходячи з необхідної рухливості бетонної суміші, вмісту цементу, виходячи з необхідної міцності бетону, вмісту щебеню з урахуванням коефіцієнта розсунення зерен щебеню. Ці ознаки збігаються з істотними ознаками винаходу, що заявляється. Потім спосіб включає визначення вмісту піску в кількості, що доповнює загальний обсяг суміші до  $1\text{ м}^3$ , тобто за залишковим принципом.

Недоліком цього способу є те, що він не забезпечує досягнення надійної недеформовуваності, тріщиностійкості і водонепроникності бетону.

Найбільш близьким за технічною сутністю є спосіб визначення складу бетонної суміші [А.с. SU 1787972 А1. Способ определения состава бетонной смеси / Плагин А.Н., Калинин О.А. и др.- Заявл. 26.06.1990.- Опубл. 15.01.93. - Бюл.№2.], що включає визначення густини і пустотності щебеню, піску і цементу, вмісту в суміші щебеню і піску з урахуванням коефіцієнтів розсунення їх зерен і вмісту води В замішування з урахуванням необхідної рухливості бетонної суміші, в якому роблять розсів за фракціями щебеню і піску, за результатами розсіву визначають середній розмір фракцій щебеню і піску, що мають максимальну щільність розподілу, установлюють середній розмір найбільшої фракції цементу і з урахуванням зазначених середніх розмірів фракцій послідовно визначають кількісний вміст у суміші щебеню Щ, піску П і цементу Ц за формулами:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{\alpha_{\text{опт}} \cdot \mu_{\text{ус}}^{\text{Щ}}}{\rho_{\text{нас}}^{\text{Щ}}} + \frac{1}{\rho^{\text{Щ}}}}, \quad (1)$$

$$\text{П} = \frac{1000 - \frac{\text{Щ}}{\rho^{\text{Щ}}}}{\frac{\mu_{\text{опт}} \cdot \mu_{\text{ус}}^{\text{П}}}{\rho_{\text{нас}}^{\text{П}}} + \frac{1}{\rho^{\text{П}}}}, \quad (2)$$

$$\text{Ц} = \left[ 1000 - \left( \frac{\text{П}}{\rho^{\text{П}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho^{\text{Щ}}} + \text{В} \right) \right] \cdot \rho^{\text{Ц}} \quad (3)$$

де  $\mu_{\text{ус}}^{\text{Щ}}$ ,  $\mu_{\text{ус}}^{\text{П}}$  - пустотність щебеню і піску в насипному стані;

$\rho_{\text{нас}}^{\text{Щ}}$ ,  $\rho_{\text{нас}}^{\text{П}}$  - насипна густина щебеню і піску;

$\rho^{\text{Щ}}$ ,  $\rho^{\text{П}}$ ,  $\rho^{\text{Ц}}$  - істинна густина щебеню, піску і цементу;

$\alpha_{\text{опт}}$  - величина оптимального коефіцієнта розсунення зерен щебеню:

$$\alpha_{\text{опт}} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{d^{\text{П}}}{d^{\text{Щ}}} \right)^3 - 1,1, \quad (4)$$

$\mu_{\text{опт}}$  - величина оптимального коефіцієнту розсунення зерен піску;

$$\mu_{\text{опт}} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{d^{\text{Ц}}}{d^{\text{П}}} \right)^3 - 1,1, \quad (5)$$

$d^{\text{Щ}}$ ,  $d^{\text{П}}$  - середні розміри фракцій щебеню і піску, що мають максимальну щільність розподілу;

$d^{\text{Ц}}$  - середній розмір найбільшої фракції цементу.

Даний спосіб передбачає одержання високої тріщиностійкості, водонепроникності і міцності бетону і забезпечення заданої рухливості бетонної суміші.

Недоліком цього способу є те, що у випадку високорухливих бетонних сумішей з великим вмістом води і великою осадкою конуса ОК він не дозволяє одержати бетон високої міцності, низької деформативності і водонепроникності через невисоку витрату цементу, а у випадку малорухливих і жорстких бетонних сумішей з малою витратою води він передбачає високу витрату цементу, яка є економічно не вигідною.

В основу винаходу поставлено задачу удосконалення способу визначення складу високоміцного бетону, в якому досягається підвищення міцності, особливо при згині, зниження деформативності і водонепроникності бетону з забезпеченням високої рухливості (вібророзтічності) бетонної суміші, у той час як осадка конуса ОК прагне до нуля (близька до нуля).

Поставлена задача досягається шляхом визначення складу бетону розрахунково-експериментальним способом, що включає визначення вмісту в суміші щебеню і піску з урахуванням оптимальних величин коефіцієнтів розсіву зерен щебеню  $\alpha_{\text{опт}}$  і піску  $\mu_{\text{опт}}$  за формулами (1; 2; 4; 5), після чого згідно винаходу у воду замішування додають суперпластифікатор відповідної концентрації, експериментально визначають водопоглинання щебеню  $W^{\text{Щ}}$  і піску  $W^{\text{П}}$ , з урахуванням цих характеристик визначають кількісний вміст цементу і води за рівняннями:

$$\text{Ц} = \frac{1000 - \text{Щ} \left( \frac{1}{\rho^{\text{Щ}}} + W^{\text{Щ}} \right) - \text{П} \left( \frac{1}{\rho^{\text{П}}} + W^{\text{П}} \right)}{\frac{1}{\rho^{\text{Ц}}} + \left( \frac{\text{В}}{\text{Ц}} \right)_{\text{опт}}}, \quad (6)$$

$$\text{В} = (\text{В}/\text{Ц})_{\text{опт}} \cdot \text{Ц} + \text{Щ} \cdot W^{\text{Щ}} + \text{П} \cdot W^{\text{П}} \quad (7)$$

де  $\rho^u$  - істинна густина цементу;  
 $(B/C)_{\text{опт}}$  - оптимальне водоцементне відношення, після чого визначають вібророзтічність (жорсткість) бетонної суміші Ж.

Крім того, відповідно до винаходу в цемент додають наповнювач Н, середній розмір часток якого менший середнього розміру часток цементу, експериментальним чи розрахунковим шляхом визначають оптимальне відношення  $(B/H)_{\text{опт}}$ , з урахуванням якого визначають оптимальне відношення витрати наповнювача до витрати цементу  $(H/C)_{\text{опт}}$ :

$$\left(\frac{H}{C}\right)_{\text{опт}} = \frac{0,167}{1/\rho^H + \left(\frac{B}{H}\right)_{\text{опт}}}, \quad (8)$$

де  $\rho^u$  - істинна густина наповнювача,  
 а потім кількісний вміст у суміші цементу, наповнювача і води за формулами:

$$C = \frac{1000 - \text{Щ}/\rho^{\text{Щ}} - \text{П}/\rho^{\text{П}} - \text{П} \cdot W^{\text{П}} - \text{Щ} \cdot W^{\text{Щ}}}{\left(\frac{1}{\rho^C} + \left(\frac{B}{C}\right)_{\text{опт}}\right) + \left(\frac{H}{C}\right)_{\text{опт}} \cdot \left(\frac{1}{\rho^H} + \left(\frac{B}{H}\right)_{\text{опт}}\right)}, \quad (9)$$

$$H = C \cdot (H/C)_{\text{опт}} \quad (10)$$

$$B = C \cdot (B/C)_{\text{опт}} + H \cdot (B/H)_{\text{опт}} + \text{П} \cdot W^{\text{П}} + \text{Щ} \cdot W^{\text{Щ}} \quad (11)$$

Додавання у воду замішування суперпластифікатора відповідної концентрації забезпечує зниження витрати води і високу зручноукладальність (вібророзтічність) бетонної суміші.

Визначення витрати цементу за формулами (6) і (9) забезпечує максимальне заповнення пор у бетоні, підвищує його щільність.

Визначення витрати води за рівняннями (7) і (11) забезпечує необхідне змочування поверхні всіх складових бетону і виключення вільної води і осадки конуса бетонної суміші (6Ж дорівнює нулю).

Додавання в цемент мінерального наповнювача за (10) замість частини цементу, середній розмір часток якого менший середнього розміру часток цементу, обумовлює зниження витрати цементу, визначення оптимального відношення вода - наповнювач  $(B/H)_{\text{опт}}$ , дозволяє визначити оптимальне відношення наповнювач - цемент  $(H/C)_{\text{опт}}$ , а визначення водопоглинання щебеню  $W^{\text{Щ}}$  і піску  $W^{\text{П}}$  дозволяє визначити оптимальну витрату води.

Сутність винаходу пояснюється схемами і графіками, на яких зображено: - фіг.1 - схема прошарків матриці між структуроутворюючими елементами СЭ;

- фіг.2 - залежність міцності цементного каменю на 28 добу твердіння R від водоцементного відношення В/Ц [Киреєнко І.А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов.- Киев: Госстройиздат УССР, 1961.-79 с.]

- фіг.3 - залежність густини цементного каменю  $\rho$  водоцементного відношення В/Ц [Плугин А.А. Совершенствование состава и структуры бетона с учетом электроповерхностных свойств его составляющих для повышения прочности и стойкости изделий кольцевого сечения: Дисс. канд. техн. наук. 05.23.05.- Харьков: ХИСИ, 1994.- 245 с.];

- фіг.4 - залежність густини  $\rho^{\text{HB}}$  суміші наповнювача (кварцовий піл) з водою Н+В від відношення В/Н, %;

- фіг.5 - залежність густини  $\rho^{\text{HB}}$  суміші наповнювача (кварцовий піл) з водою Н+В від відношення В/Н, %;

- фіг.6 - залежність відношення міцності при згині до міцності при стиску від відношення Н/Ц;

- фіг.7 - зміна сумарної (у стиснутій і розтягнутій зонах) деформацій бетонних балок при згині у часі;

- фіг.8 - зміна сумарних відносних деформацій бетонних балок у стиснутій зоні при згині і граничній деформації звичайного високоміцного бетону в часі.

На фіг.1 представлені схеми будови прошарків з більш дрібних часток матриці між більш крупними структуроутворюючими елементами СЭ, зокрема зерен піску між зернами щебеню для а і часток цементу між зернами піску для μ.

Оптимальній структурі на макро- і мезорівні, або  $\alpha_{\text{опт}}$  і  $\mu_{\text{опт}}$  у рівняннях, відповідно, (4) і (5) відповідає будова прошарку, зображена на фіг.1, а, яка досягається при витратах щебеню і піску, визначених за (1) і (2). При цьому щільність і міцність бетону є максимальними (для відповідних величин В/Ц), деформативні (довготривала повзучість) і фільтраційні (водопроникність) характеристики бетону є мінімальними. Неоптимальна структура (фіг.1, б, в), не забезпечує максимальні щільність і міцність і мінімальні деформативність і водопроникність.

За даними, наведеними на фіг.2 і фіг.3 видно, що при  $(B/C) = 0,23$  спостерігається найбільша міцність і щільність цементного каменю, виготовленого з портландцементу. Отже, оптимальна величина  $(B/C)_{\text{опт}}$  у виразі (6) дорівнює  $(B/C)_{\text{опт}} = 0,23$ .

Збільшення В/Ц понад 0,23 приводить до виникнення вільної води, кількість якої збільшується зі збільшенням В/Ц. Відповідно, збільшується пористість і міцність цементного каменю. При  $B/C < 0,23$  виникає недозаповнення водою пор у цементі, зменшення щільності цементного каменю, зниження ступеня гідратації цементу і міцності цементного каменю.

При  $B/H = (B/H)_{\text{опт}}$  подібно  $B/C = (B/C)_{\text{опт}}$ , забезпечується найбільша міцність і щільність каменю з цементу і наповнювача. Збільшення В/Н понад  $(B/H)_{\text{опт}}$  приводить до виникнення вільної води, кількість якої збільшується зі збільшенням В/Н. Відповідно, збільшується пористість і міцність каменю із цементу з наповнювачем. При  $B/H < (B/H)_{\text{опт}}$  поверхня наповнювача недостатньо змочується, що може привести до зниження ступеня гідратації цементу і зменшенню міцності каменю із цементу з наповнювачем.

Додавання води в кількість, рівній водопоглинанню щебеню і піску  $\text{Щ} \cdot W_{\text{щ}}$  і  $\text{П} \cdot W_{\text{п}}$  також забезпечує достатнє змочування заповнювачів і виключає вільну воду. Все це разом обумовлює безосадочність бетонної суміші, знижує до мінімуму водопроникність і деформативність бетону, збільшує його міцність і тріщиностійкість.

Приклад.

1.1. Визначають склад бетону за прототипом, що має досить високі міцність, щільність і низьку водопроникність, з рухливою бетонною сумішшю (жорсткість менша 15с, ОК = 4÷5хв.).

Використовувані матеріали: портландцемент марки 500, питома поверхня  $s_{ц} = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ , істинна густина  $\rho^ц = 3,1 \text{ кг/л}$ , пустотність  $\text{Пус}^ц = 0,42$ , середній розмір найбільш представницької фракції  $d^ц = 0,05 \text{ мм}$ ; щебінь гранітний крупністю 20мм, насипна густина  $\rho_{нас}^щ = 1,4 \text{ кг/л}$ , істинна густина  $\rho^щ = 2,65 \text{ кг/л}$ , пустотність  $\text{Пус}^щ = 0,47$ , середній розмір найбільш представницької фракції  $d^щ = 15 \text{ мм}$ ; пісок кварцовий дрібний, модуль крупності  $M_{кр} = 1,0$ , насипна густина  $\rho_{нас}^п = 1,43 \text{ кг/л}$ , істинна густина  $\rho^п = 2,65 \text{ кг/л}$ , пустотність  $\text{Пус}^п = 0,46$ , середній розмір найбільш представницької фракції  $d^п = 0,23 \text{ мм}$ .

Визначають кількісний вміст води замішування в бетонній суміші. Для ОК = 4+5 см витрата води складе  $V = 190 + 10 = 200 \text{ л/м}^3$ ,

де 10л - добавка до витрати води, що враховує застосування дрібного піску. Роблять розсів за фракціями щебеню і піску, за результатами розсіву визначають середній розмір фракцій щебеню і піску, що мають максимальну густину розподілу, установлюють середній розмір найбільшої фракції цементу і з урахуванням зазначених середніх розмірів фракцій послідовно визначають кількісний вміст у суміші щебеню, піску і цементу:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\frac{\alpha_{\text{опт}} \cdot \text{Пус}^щ}{\rho_{\text{нас}}^щ} + \frac{1}{\rho^щ}} = \frac{1000}{\frac{1,1 \cdot 0,47}{1,4} + \frac{1}{2,65}} = 1343 \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{П} = \frac{1000 - \frac{\text{Щ}}{\rho^щ}}{\frac{\mu_{\text{опт}} \cdot \text{Пус}^п}{\rho_{\text{нас}}^п} + \frac{1}{\rho^п}} = \frac{1000 - \frac{1343}{2,65}}{\frac{2,7 \cdot 0,46}{1,43} + \frac{1}{2,65}} = 397 \text{ кг/м}^3,$$

$$\alpha_{\text{опт}} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d^п}{d^щ}\right)^3 - 1,1 = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{0,23}{15}\right)^3 - 1,1 = 1,1,$$

$$\mu_{\text{опт}} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d^щ}{d^п}\right)^3 - 1,1 = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{0,05}{0,23}\right)^3 - 1,1 = 2,7,$$

$$\text{Ц} = (1000 - 1343/2,65 - 397/2,65 - 200) \cdot 3,1 = 445 \text{ кг/м}^3.$$

Перевірка:

- середня густина бетону:

$$\rho_6 = (1343 + 397 + 445 + 200) = 2385 \text{ кг/м}^3,$$

- об'єм бетону:

$$V_6 = (1343/2,65 + 397/2,65 + 445/3,1 + 200) = 507 + 150 + 143 + 200 = 1000 \text{ л}.$$

1.2. Визначають склад бетону за винаходом (із суперпластифікатором, без наповнювача), що має високу міцність і зручноукладальність бетонної суміші (в7 бророзтічність ВР, що відповідає жорсткості Ж менше 15 с (за спрощеним способом [Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИЖБ.- М: Стройиздат, 1979.- 103 с], ОК = 0); супер пластифікатор - «Дофен», рекомендована концентрація - 1% від маси цементу.

Експериментально визначають за стандартною методикою, наприклад у [Лифанов И.С, Шерстюков Н.Г. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве. М: Стройиздат, 1979. - 224 с], водопоглинання щебеню  $W^щ$  і піску  $W^п$ , котрі склали  $W^щ = 0,0075$  і  $W^п = 0,12$ .

За аналогією з прототипом визначають кількісний вміст у бетоні щебеню і піску

$\text{Щ} = 1343 \text{ кг/м}^3$ ,  $\text{П} = 397 \text{ кг/м}^3$ . Визначають витрату цементу і води:

$$\text{Ц} = \frac{1000 - 1343 \left( \frac{1}{2,65} + 0,0075 \right) - 397 \left( \frac{1}{2,65} + 0,12 \right)}{\frac{1}{3,1} + 0,23} = 517 \text{ кг/м}^3$$

$V = 517 \cdot 0,23 + 1343 \cdot 0,0075 + 397 \cdot 0,12 = 176$ , л/м<sup>3</sup>. При цьому витрата суперпластифікатора складе:

$$\text{СП} = 0,01 \cdot \text{Ц} = 0,01 \cdot 517 = 5,17 \text{ кг/м}^3.$$

Перевірка

- середня густина бетону

$$\rho_6 = (1343 + 397 + 517 + 176) = 2433 \text{ кг/м}^3$$

- об'єм бетону

$$V_6 = (1343/2,65 + 397/2,65 + 517/3,1 + 176) = 507 + 150 + 167 + 176 = 1000 \text{ л}.$$

1.3. Визначають склад бетону за винаходом (із суперпластифікатором і наповнювачем), що має високу міцність при згині і високу вібророзтічність ВР (відповідну жорсткості Ж менше 15 с, ОК = 0).

Використовувані матеріали: щебінь, пісок, цемент і суперпластифікатор - ті ж самі. Наповнювач - кварцовий пил, середній розмір часток менший, ніж у цементу, істинна густина  $\rho^н = 2,65 \text{ кг/л}$ .

Визначають оптимальне відношення  $\{В/Н\}_{\text{опт}}$  по експериментальній  $\rho_{р^н}$  і розрахунковій (через абсолютні обсяги)  $\rho_{р^н}$  кривим зміни густини суміші наповнювача Н і води В при різних відношеннях В/Н.

У таблиці 1 і на фіг.4 приведені склади сумішей з Н і В та результати визначення їх експериментальної і розрахункової густини.

№ суміші	В/Н	Н, г	В, г	Маса з посудиною, г	Маса без посудини, г	В/Н, %	Густина експериментальна $\rho_{\text{э, н}}$ , кг/л	Густина розрахована $\rho_{\text{р, н}}$ , кг/л
1	0,15	490	73,5	397	311	15	1,07	2,18
2	0,2	490	98	430	344	20	1,19	2,08
3	0,25	490	122,5	475	389	25	1,34	1,99
4	0,3	490	147	546	460	30	1,59	1,92
5	0,35	490	171,5	616	530	35	1,83	1,86
6	0,4	490	196	618	532	40	1,83	1,80
7	0,45	490	220,5	614	528	45	1,82	1,75
8	0,5	490	245	600	514	50	1,77	1,71
9	0,6	490	294	587	501	60	1,73	1,64
10	0,7	490	343	576	490	70	1,69	1,58
11	0,8	490	392	565	479	80	1,65	1,53
12	0,9	490	441	555	469	90	1,62	1,49
13	1,0	490	490	550	464	100	1,60	1,45

Маса посудини - 86г, об'єм - 290см<sup>3</sup>.

При зміні В/Н від 0 до 3 % (0,35) густина суміші збільшується за рахунок заповнення водою порот наповнювача. Максимальне заповнення досягається при В/Н= 0,35.

Перелом при В/Н=0,23 (фіг.5) відповідає об'єму хімічно зв'язаної води на поверхні часток наповнювача, що і визначає оптимальне відношення (В/Н)<sub>опт</sub>=0,23.

Потім за аналогією з прототипом визначають кількісний вміст у бетоні щебеню і піску:

$$\text{Щ} = 1343\text{кг/м}^3, \text{ П} = 397\text{кг/м}^3.$$

Потім визначають оптимальне відношення витрати наповнювача до витрати цементу (Н/Ц)<sub>опт</sub>

$$\left(\frac{\text{Н}}{\text{Ц}}\right)_{\text{опт}} = \frac{0,167}{1/2,65 + 0,23} = 0,275,$$

а потім кількісний вміст у суміші цементу, наповнювача і води за формулами:

$$\text{Ц} = \frac{1000 - 1343/2,65 - 397/2,65 - 1343 \cdot 0,0075 - 397 \cdot 0,12}{\left(\frac{1}{3,1} + 0,23\right) + 0,275 \cdot \left(\frac{1}{2,65} + 0,23\right)} = 397\text{кг/м}^3,$$

$$\text{Н} = 397 \cdot 0,275 = 109\text{кг/м}^3$$

$$\text{В} = 397 \cdot 0,23 + 109 \cdot 0,23 + 1343 \cdot 0,0075 + 397 \cdot 0,12 = 174\text{л/м}^3.$$

Витрата суперпластифікатора складе:

$$\text{СП} = 0,01\text{Ц} = 0,01 \cdot 397 = 3,97\text{кг/м}^3.$$

Перевірка:

- середня густина бетону -

$$\rho_{\text{б}} = (1343 + 397 + 397 + 109 + 174) = 2420\text{кг/м}^3,$$

- об'єм бетону -

$$V_{\text{б}} = 1343/2,65 + 397/2,65 + 397/3,1 + 109/2,65 + 174 = 507 + 150 + 128 + 41 + 174 = 1000\text{л}.$$

За даними складами виготовляють у відповідній кількості бетонні суміші 3-х серій: 1 серія - за прототипом, 2 серія - за винаходом (із суперпластифікатором, без наповнювача) і 3 серія - за винаходом (із суперпластифікатором і наповнювачем). При цьому об'єм води і суперпластифікатора дорівнює об'єму води, визначеному розрахунком. У кожній серії визначають зручнокладальність: осадку конуса ОК у серії 1 і вібророзтічність (жорсткість спрощеним способом Скрамтаєва) у серіях 2 і 3. З цих бетонних сумішей формують по 6 бетонних зразків-кубів 10x10x10см і по 4 бетонні зразки-балки перетином 5x10x50см.

Три зразки-куби і балки пропарюють за стандартними режимами і випробують на стиск і згин, відповідно. Інші три зразки-куби витримують у стандартних умовах 28 діб і також випробують на стиск.

По одній половинці зі зразків-балок, що залишилися після випробування на згин, випробовують на безнапірну водопроникність і водопоглинання [А.с.№1511661 Способ определения водопроницаемости бетона / А.Н.Плугин, Т.Г.Сацук, А.И.Бирюков, Н.В.Вдовенко и др.- 1990.] протягом тривалого часу, а по одному зразку-балці, що залишилися, випробовують на деформації при згині також протягом тривалого часу. Склади бетону і результати випробувань на стиск  $R_{\text{ст}}$  МПа, згин  $R_{\text{из}}$ , МПа, безнапірну проникність (коефіцієнт безнапірної фільтрації  $K_{\text{ф}}^{\text{бн}}$ , см/с і водопоглинання  $W_{\text{м}}$  % за масою) приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Склади бетону	Ц	Н	Щ	П	В	В/Ц	Н/Ц	$R_{\text{ст}}$	$R_{\text{из}}$	$K_{\text{ф}}^{\text{бн}}$	$W_{\text{м}}$ %	%	Зручнокла-
---------------	---	---	---	---	---	-----	-----	-----------------	-----------------	----------------------------	------------------	---	------------

										см/с		дальність
Серія 1 -прототип	445	0	1343	397	200	0,45	0	35,3	3,4	$3,9 \cdot 10^{-7}$	4,99	ОК =4÷5см
Серія 2 - авторське без наповнювача	517	0	1343	397	176	0,34	0	44,5	4,3	$0,41 \cdot 10^{-7}$	1,04	ВР=12с, ОК=0,2см
Серія 3 - авторське з наповнювачем	396	109	1343	397	174	0,44	0,275	35,9	4,4	$1,29 \cdot 10^{-7}$	3,06	ВР=12с, ОК=0см

Як бачимо, у порівнянні з прототипом (серія 1), бетон без наповнювача (серія 2), виготовлений за винаходом, має значно більш високі міцнісні характеристики і водонепроникність при високій зручнорозкладальності (вібророзтічності) бетонної суміші.

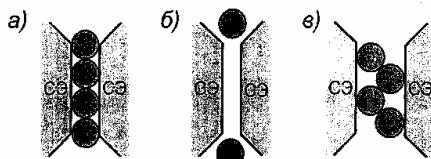
За аналогією із серією 3 виготовляють зразки-балки з бетонних сумішей з різним відношенням наповнювача до цементу Н/Ц, випробують їх на вигин і стиск і визначають відношення міцності при згині до міцності при стиску  $R_{из}/R_{сж}$ . На фіг.6 представлена графічна залежність  $R_{из}/R_{сж}$  від Н/Ц. Як бачимо, при Н/Ц = 0,27 величина  $R_{из}/R_{сж}$  є максимальною, що свідчить про оптимальність складу бетону за винаходом.

Більш висока міцність бетону при згині обумовлює більш високу тріщиностійкість залізобетонних конструкцій, що згинаються, і більш низький коефіцієнт фільтрації і водопоглинання - більш високу водонепроникність і довговічність бетону і конструкцій з нього.

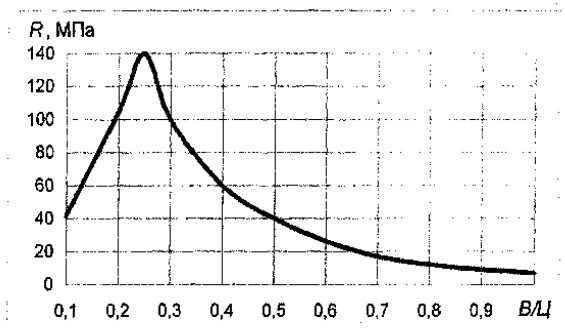
Бетон з наповнювачем також має високу зручнорозкладальність, більш високі міцнісні характеристики і більш низьку водонепроникність. В той же час цей бетон має більш низьку витрату цементу (на 30,5 %), чим за прототипом.

На фіг.7 представлені результати випробувань бетонних балок на деформації при згині протягом тривалого часу.

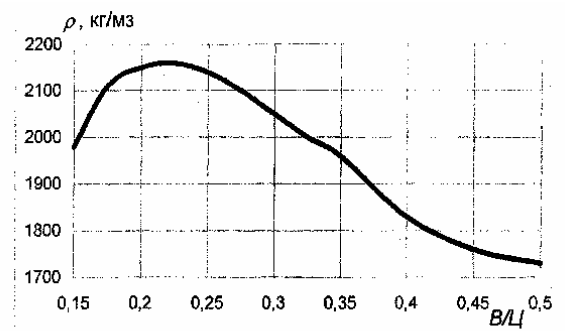
Як бачимо й у цьому випадку величини відносних деформацій бетонних балок при згині у складах бетону за винаходом істотно нижче деформацій бетону за прототипом. Стосовно звичайно використовуваних високоміцних бетонів відносні деформації бетону за винаходом на порядок нижче (фіг.8). Це обумовлює істотно меншу величину довготривалої повзучості бетону складів по винаходу і набагато більш високу довговічність залізобетонних конструкцій, що згинаються, з такого бетону.



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

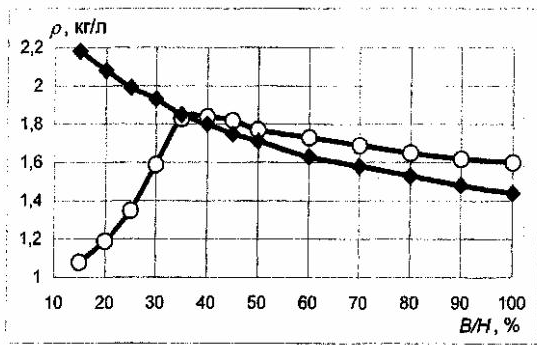


Fig. 4

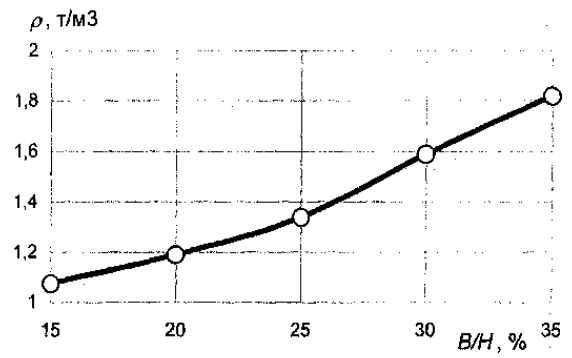


Fig. 5

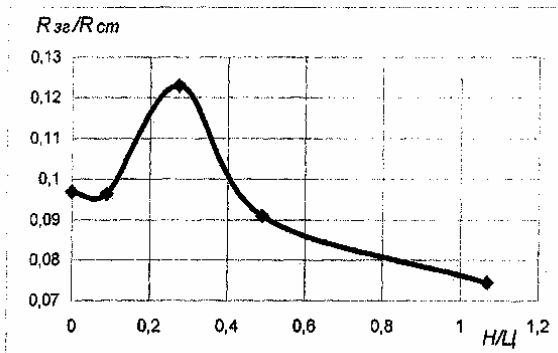
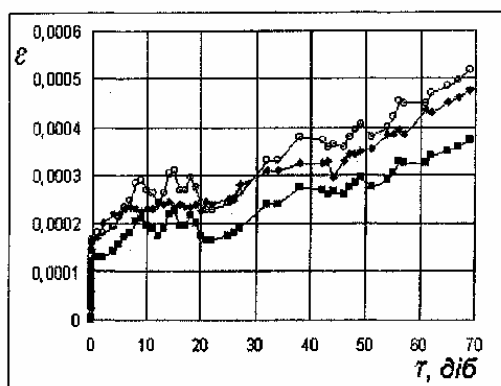
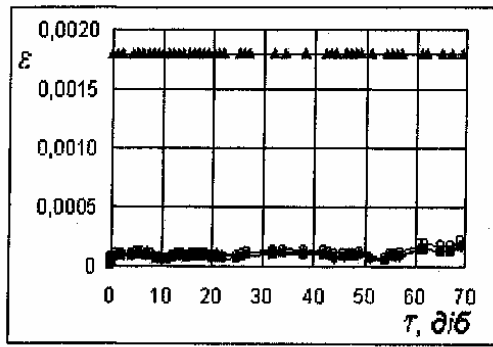


Fig. 6.



—○— за прототипом; —◆— за винаходом (без наповнювача); —■— за винаходом (з наповнювачем)

Fig. 7



—○— за прототипом; —◇— за винаходом (без наповнювача);  
 —■— за винаходом (з наповнювачем); —▲— відносна деформація  
 звичайного високоміцного бетону (для рівня навантаження 0,6)  
 Фіг.8