



УКРАЇНА

(19) UA (11) 71122 (13) C2
(51) МПК (2006)
G01N 33/38
C04B 28/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДУ ВАЖКОГО БЕТОНУ З МІНЕРАЛЬНИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

1

2

(21) 2003087901

(22) 21.08.2003

(24) 15.06.2006

(46) 15.06.2006, Бюл. № 6, 2006 р.

(72) Плугін Аркадій Миколайович, Калінін Олег Анатолійович, Мірошніченко Сергій Валерійович, Плугін Андрій Аркадійович, Плугін Артур Миколайович, Кудренко Світлана Миколаївна, Подтележнікова Інна Володимирівна, Герасименко Олег Степанович, Лютий Віталій Анатолійович, Никитинський Андрій Володимирович

(73) УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

(56) UA 10282, A, 25.12.1996

SU 1787972, A1, 15.01.1993

SU 1558882, A1, 23.04.1990

RU 2010020, C1, 30.03.1994

RU 2014305, C1, 15.06.1994

RU 2005699, C1, 15.01.1991

RU 2005703, C1, 15.01.1994

WO 9505350, A1, 23.02.1995

RU 2135427, C1, 27.08.1999

(57) 1. Спосіб визначення складу важкого бетону з мінеральним наповнювачем заданого класу по міцності В, який включає визначення щебеню Щ, піску П, цементу Ц та води В по відомих характеристиках вихідних матеріалів: активності цементу R_c , істинної щільності цементу ρ^u , наповнювача

ρ^h , піску ρ^p і щебеню ρ^w , пустотностей $n_{пус}^p$, $n_{пус}^w$ і діаметрів зерен d^p , d^w піску і щебеню, товщин прошарків між зернами наповнювача, піску і щебеню, водоцементного відношення В/Ц в залежності від середньої міцності бетону R_6 та активності цементу R_c , врахування впливу наповнювача на міцність бетону, який відрізняється тим, що визначають склад бетону з наповнювачем, розмір частинок найбільш представницької фракції якого наближається до розміру відповідних цементних, але не перевищує його, встановлюють середню міцність бетону даного класу R_6 в залежності від коефіцієнта варіації міцності бетону v , характерного для підприємства-виробника бетону даного класу, залежність Ц/В від R_6 та R_c відображають одним нелінійним теоретичним рівнянням, яке містить коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону k^h , в додаток до відомих характерис-

тик експериментально знаходять величини пустотності і середніх діаметрів мінімальної за розмірами $d_{мін}^u$ та найбільш представницької d^u фракції цементу, оптимальне водоцементне відношення (В/Ц)_{опт}, величини водопоглинання щебеню W^w , піску W^p і наповнювача W^h , товщину прошарку між зернами щебеню приймають рівною середньому діаметру найбільш представницької фракції піску d^p , між зернами піску - середньому діаметру максимальної фракції цементу $d_{макс}^u$, а між частками найбільш представницької фракції цементу - одиничному $d_{мін}^u$ чи подвоєному $2d_{мін}^u$ середньому діаметру мінімальної фракції цементу, визначають відношення питомих поверхонь наповнювача і цементу за виразом $s^h/s^u = d^u \cdot \rho^u / (d^h \cdot \rho^h)$, з урахуванням цих величин визначають середню міцність бетону на 28 добу R_{28} , середню міцність бетону після пропарювання $R_{пп}$ та оптимальні коефіцієнти розсунення зерен щебеню $\alpha_{опт}$, піску

$\mu_{опт}$ і часток цементу $\lambda_{опт}^u$ за формулами:

$$R_{28} = B / \sqrt[3]{-1,64 \cdot v}; R_{пп} = k_{пр} \cdot B / \sqrt[3]{0,98 \cdot (-1,64 \cdot v)}; (1)$$

$$\alpha_{опт} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d^p}{d^w}\right)^3 - 1,1; \mu_{опт} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d^u}{d^p}\right)^3 - 1,1; (2)$$

$$\lambda_{опт}^u = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{n \cdot d_{мін}^u}{d_{макс}^u}\right)^3 - 1,1, (3)$$

як для $n=1$, так і для $n=2$,

з урахуванням яких визначають кількісний вміст щебеню і піску і об'єм наповненого цементного тіста:

$$\text{Щ} = \frac{1000}{\alpha_{опт} \cdot \frac{\rho_{пус}^w}{\rho_{нас}^w} + \frac{1}{\rho^w}}; (4)$$

$$\text{П} = \frac{1000 - \frac{\text{Щ}}{\rho^w}}{\mu_{опт} \cdot \frac{\rho_{пус}^p}{\rho_{нас}^p} + \frac{1}{\rho^p}}; (5)$$

(11) UA (13) C2
 (11) 71122
 (19) UA

$$V_m^{ЦНВ} = 1000 - \frac{Ц}{\rho^{Щ}} - \frac{П}{\rho^П}, \quad (6)$$

з урахуванням яких розраховують початковий вміст цементу $Ц_0$ і води B_0 у ненаповненому цементному тісті:

$$Ц_0 = \frac{1000 - \frac{Щ}{\rho^{Щ}} - \frac{П}{\rho^П}}{\frac{1}{\rho^Ц} + \left(\frac{В}{Ц}\right)_{опт}}; \quad (7)$$

$$B_0 = Ц_0 \cdot \left(\frac{В}{Ц}\right)_{опт} + П \cdot W^П + Щ \cdot W^Щ, \quad (8)$$

водоцементне відношення для бетону заданої міцності без наповнювача, приймаючи $k^H=1$:

$$\frac{B_0}{Ц} = \frac{1}{\frac{R_6}{R_{цк}} \cdot \frac{1}{k^H} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,9 \cdot A} \pm \left(\left(\frac{R_6}{R_{цк}} \cdot \frac{1}{k^H} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,9 \cdot A} \right)^2 + \frac{R_6}{R_{цк}} \cdot \frac{1}{k^H} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1,9 \cdot A} \right)^{0,5}}, \quad (9)$$

початкове відношення кількісного вмісту наповнювача до кількісного вмісту цементу:

$$\left(\frac{H}{Ц}\right)_0 = \left(\frac{Ц_0}{B_0} \cdot \frac{В_0}{Ц} \cdot \frac{1}{\rho^Ц} - \frac{1}{\rho^Ц}\right) \cdot \rho^H, \quad (10)$$

коефіцієнт розсунення часток цементу за виразом:

$$\lambda_{Ц} = \frac{B_0 + \left(\frac{В_0}{Ц}\right) \cdot \left(\frac{H}{Ц}\right)_0 \cdot \frac{1}{\rho^H}}{\frac{В_0}{Ц} \cdot \frac{\mu_{п\text{ус}}^Ц}{\rho_{нас}^Ц}}, \quad (11)$$

з урахуванням $\left(\frac{H}{Ц}\right)_0$ визначають відношення площі поверхні наповнювача до площі поверхні цементу

$$\frac{S^H}{S^Ц} = \left(\frac{H}{Ц}\right)_0 \cdot \frac{1}{\gamma^Ц} \cdot \frac{s^H}{s^Ц} \quad \text{і при } S^H/S^Ц < 0,5 \text{ приймають}$$

$\lambda_{опт}^Ц$ для $n=2$, а при $S^H/S^Ц > 0,5$ - для $n=1$, при яких визначають коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону

$$k^H = \left(\frac{\lambda^Ц}{\lambda_{опт}^Ц}\right)^{0,333}, \quad (12)$$

при $k^H > 1$ частину цементу замінюють наповнювачем, для чого за формулою (9) з урахуванням k^H за формулою (12) визначають водоцементне відношення

$\left(\frac{В_0}{Ц}\right)_H$, що забезпечує задану міцність бетону з наповнювачем, визначають остаточне відношення кількості наповнювача до кількості цементу

$$\frac{H}{Ц} \quad \text{за виразом}$$

$$\frac{H}{Ц} = \left(\frac{Ц_0}{B_0} \cdot \left(\frac{В_0}{Ц}\right)_H - 1\right) \frac{\rho^H}{\rho^Ц}, \quad (13)$$

а потім кількісний вміст цементу, наповнювача і води за виразами:

$$Ц = \frac{V_{ЦНВ}^{ЦНВ}}{\left(\frac{1}{\rho^Ц} + \left(\frac{В}{Ц}\right)_{опт}\right) + \frac{H}{Ц} \cdot \left(\frac{1}{\rho^H} + W^H\right)} \quad (14)$$

$$H = Ц \cdot \frac{H}{Ц}; \quad (15)$$

$$B = Ц \cdot \left(\frac{В}{Ц}\right)_{опт} + H \cdot W^П + П \cdot W^П + Щ \cdot W^Щ, \quad (16)$$

де $k_{пр}$ - коефіцієнт пропарювання;

n - кількість рядків цементних частинок розміром

$d_{мін}^Ц$ у прошарку між частинками розміром $d^Ц$;

$R_6, R_{ц}$ - еквівалентні (28 діб або після пропарювання) міцність бетону і активність цементу, МПа;

A - коефіцієнт якості матеріалів;

$Ц, П, Ц$ і B - кількісний вміст у бетонній суміші щебеню, піску, цементу ($кг/м^3$) і води ($л/м^3$);

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

$\rho_{нас}^Щ, \rho_{нас}^П$ - насипна щільність щебеню і піску, $т/м^3$;

$\rho^Щ, \rho^П, \rho^Ц$ - істинна щільність щебеню і піску, $т/м^3$;

$d^Щ, d^П$ - середні розміри фракцій щебеню і піску, що мають максимальну густину розподілу, мм;

$\gamma^Ц$ - масова частка частинок цементу, крупніша за

$d_{мін}^Ц$;

$\left(\frac{В}{Ц}\right)_{опт}$ - оптимальне водоцементне відношення;

$$V_{ЦНВ}^{ЦНВ} = 1000 - \frac{Щ}{\rho^{Щ}} - \frac{П}{\rho^П} \quad \text{- об'єм тіста із цементу, наповнювача і води, } л/м^3.$$

2. Спосіб визначення складу бетону з наповнювачем за п. 1, який відрізняється тим, що визначають

величини і будують криві розрахункової ρ_e^{CM} і експериментальної ρ_e^{CM} щільностей сумішей води B з піском і цементом або наповнювачем H в залежності від коефіцієнта розсунення зерен піску μ або

відношення B/H , за екстремальними точками наближення експериментальної кривої до теоретичної

визначають відповідні оптимальні коефіцієнти розсунення $\mu_{опт}$ і $\lambda_{опт}$, пустотність наповнювача

$\mu_{п\text{ус}}^Ц$, його водопотребу W^H і, знаючи розмір часток піску, визначають розмір часток цементу $d^Ц$ або наповнювача d^H за формулою:

$$d^{Ц,H} = \left(\left(\frac{\mu_{опт} + 1,1}{2,1} \right)^{0,333} - 1 \right) \cdot d^П / n, \quad (17)$$

де n - кількість рядків цементних часток чи часток наповнювача між зернами піску.

Винахід відноситься до способів визначення складу бетонів і може знайти застосування в будівництві і промисловості будівельних матеріалів.

Відомий розрахунково-експериментальний спосіб визначення складу важкого бетону заданої міцності і зручності, який включає визначення водоцементного відношення В/Ц, витрати води В, щебеню Щ та піску П по відомим характеристикам вихідних матеріалів: активність цементу, щільність (істинна) цементу, піску і щебеню, об'ємна насипна маса (насипна щільність) і пустотність щебеню, при чому В/Ц визначається в залежності від міцності бетону R_b та активності цементу R_c , Щ - в залежності від коефіцієнта розсування α . [Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИЖБ.- М.: Стройиздат, 1979.- 102с., С.16-20]. Ці ознаки збігаються з істотними ознаками винаходу, що заявляється.

Крім того, у відомому способі В/Ц визначають по двох формулах В/Ц (так званий закон водоцементного відношення), які відображають умовну лінійну залежність R_b від Ц/В та R_c , витрати води В - по графічних залежностях від зручності бетонної суміші (осадка конуса ОК чи жорсткість Ж), Ц - по величинах В та Ц/В, коефіцієнт α - по Ц та В/Ц (або по об'єму цементного тіста $V_{цт}$). Останнім визначають П в кількості, що доповнює загальний об'єм суміші до 1 м^3 , тобто по залишковому принципу.

Недоліком цього способу є те, що він не забезпечує однорідні високі недеформовуваність, тріщиностійкість і водонепроникність бетону. Для бетонів невисокої міцності він вимагає невідрядно високих витрат цементу.

Найбільш близьким за технічною сутністю є спосіб визначення складу наповнених бетонів (поліструктурний метод) заданої міцності R і рухомості ОК, який включає визначення водоцементного відношення В/Ц, витрати води В, щебеню Щ та піску П по відомим характеристикам вихідних матеріалів: активності цементу R_c , питомої щільності цементу $\rho^ц$, наповнювача $\rho^н$, піску $\rho^п$ і щебеню $\rho^щ$, значеннях середньої щільності цих компонентів $\rho^{о.ц}$, $\rho^{о.н}$, $\rho^{о.п}$ і $\rho^{о.щ}$ і діаметрів зерен $d^н$, $d^п$ $d^щ$ наповнювача, піску і щебеню [Цементные бетоны с минеральными наполнителями Л.И.Дворкин, В.И.Соломатов, В.Н.Выровой, С.М.Чудновский.- К.: Будивельник, 1991. - 137с. (С.113-119)], при чому визначення Ц/В здійснюють в залежності від міцності бетону R_b та активності цементу R_c , у якому залежність Ц/В від R_b та R_c відображають лінійним рівнянням, враховують вплив наповнювача на міцність бетону за допомогою коефіцієнта активності k, величину якого визначають за допомогою таблиць і вводять у це рівняння, визначають середні товщини об'язок цементним тістом на частках наповнювача $\delta^н$, наповненого цементного тіста на зернах піску $\delta^п$ і розчину на зернах щебеню $\delta^щ$ і враховують товщини прошарків між зернами наповнювача, піску і щебеню, розраховують по значенням питомої поверхні чи по даним гранулометричного складу середні діаметри частинок фаз $d^щ$, $d^п$ і $d^н$, величини $\delta^н$, $\delta^п$, $\delta^щ$ визначають за допомогою таблиць, а товщини прошарків приймають рівними

подвоєним величинам товщин об'язок $2\delta^н$, $2\delta^п$, $2\delta^щ$, при визначенні складових бетону витрати наповнювача і піску розраховують раніше, ніж витрати цементу і води, і з урахуванням всього цього ведуть розрахунок складу бетону по рівнянням:

- об'ємна концентрація наповнювача і цементного тіста у наповненому цементному тісті

$$C_H^1 = (1 - \Pi_{yc}^H) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta^H}{d^H}\right)^{-3} \quad (1.п)$$

$$C_{цт} = 1 - C_H^1 \quad (2. п)$$

- об'ємна концентрація піску і наповненого цементного тіста у розчині

$$C_P^2 = (1 - \Pi_{yc}^P) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta^P}{d^P}\right)^{-3} \quad (3.п)$$

$$C_{цт}^2 = 1 - C_P^2 \quad (4.п)$$

- об'ємна концентрацію щебеню і наповненого цементного розчину у бетоні

$$C_{щ}^3 = (1 - \Pi_{yc}^{щ}) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \delta^{щ}}{d^{щ}}\right)^{-3} \quad (5.п)$$

$$C_P^3 = 1 - C_{щ}^3 \quad (6.п)$$

- об'ємна концентрація наповнювача і піску у суміші

$$C_H = C_H^1 \cdot C_{цт}^2 \cdot C_P^3 \quad (7.п)$$

$$C_P = C_P^2 \cdot C_P^3 \quad (8.п)$$

об'ємні V_H , V_P , $V_{щ}$ та масові H , P , $щ$ витрати наповнювача, піску і щебеню на 1 м^3 бетонної суміші

$$V_H = C_H \cdot 1000 \text{ л/м}^3 \quad (9.п)$$

$$H = C_H \cdot \rho^H \text{ кг/м}^3$$

$$V_P = C_P \cdot 1000 \text{ л/м}^3 \quad (10.п)$$

$$P = C_P \cdot \rho^P \text{ кг/м}^3$$

$$V_{щ} = C_{щ} \cdot 1000 \text{ л/м}^3 \quad (11.п)$$

$$щ = C_{щ} \cdot \rho^{щ} \text{ кг/м}^3$$

$$- \text{об'єм цементного тіста в бетонній суміші:} \\ V_{цт} = 1000 - (V_{щ} + V_P + V_H + V_{вв}) \quad (12)$$

- цементно-водне відношення

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_b}{A \cdot R_c} + 0,5 \cdot C_H \quad (13)$$

- витрати води В і цементу Ц на 1 м^3 бетонної суміші:

$$B = \frac{V_{цт} \cdot \rho_{цт}}{\rho_{цт} + \frac{Ц}{В}}, \text{ л/м}^3 \quad (14)$$

$$Ц = (V_{цт} - B) \cdot \rho^ц, \text{ кг/м}^3 \quad (15.п)$$

де: $\Pi_{yc}^{щ}$, $\Pi_{yc}^п$, Π_{yc}^H - пустотність щебеню, піску і наповнювача в насипному стані; $\rho^{щ}$, $\rho^п$, ρ^H - істинна щільність щебеню, піску і наповнювача; $V_{вв}$ - об'єм втягнутого повітря; $V_{щ}$, V_P , V_H - об'єми щебеню, піску і наповнювача у 1 м^3 бетону.

Недоліком цього способу є трудомісткість визначення для кожної партії наповнювачів коефіцієнтів активності k та середніх товщин обмазки δ^H , δ^P і $\delta^Щ$. Табличні значення δ^H , δ^P і $\delta^Щ$ (табл.1), а також витрати води, які визначаються з їх урахуванням по (14.п), як показали розрахунки та експерименти, не забезпечують необхідну зручності укладальності бетонної суміші для більшості складів і тому не дозволяють забезпечити для них економію цементу.

Крім того, ці способи не враховують сучасні вимоги забезпечення класу бетону з міцності B як основної нормативної величини міцності бетону.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу визначення складу бетону з наповнювачем із заданим класом по міцності B , в якому вирішується задача зменшення витрат цементу, забезпечення максимальної недеформованості, тріщиностійкості, водонепроникності бетону і високої зручності укладальності бетонної суміші.

Поставлена задача вирішується шляхом визначення складу важкого бетону з наповнювачем заданого класу по міцності B , який включає визначення щебеню $Щ$, піску $П$, цементу $Ц$ та води $В$ по відомим характеристикам вихідних матеріалів: активності цементу R_C , питомої поверхні цементу s_C , питомої щільності цементу $\rho^Ц$, наповнювача ρ^H , піску ρ^P і щебеню $\rho^Щ$, пустотностей $\Pi_{УС}^П$, $\Pi_{УС}^Щ$ і діаметрів зерен $d^П$, $d^Щ$ піску і щебеню, товщин прошарків між зернами наповнювача, піску і щебеню, водоцементного відношення $В/Ц$ в залежності від середньої міцності бетону R_B та активності цементу R_C , враховують вплив наповнювача на міцність бетону, у якому наповнювач має розмір частинок найбільш представницької фракції, що наближається до розміру відповідних цементних, але не перевищує його, встановлюють середню міцність бетону даного класу R_B в залежності від коефіцієнту варіації міцності бетону v , характерного для підприємства-виробителя бетону даного класу, залежність $Ц/В$ від R_B та R_C відображають одним нелінійним теоретичним рівнянням, яке містить коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону k^H , в додаток до відомих характеристик експериментальне знаходять величини пустотності і середніх діаметрів мінімальної за розмірами $d_{МИН}^Ц$ та найбільш представницької $d^Ц$ фракцій цементу, оптимальне водоцементне відношення $(В/Ц)_{ОПТ}$, величини водопоглинання щебеню $W^Щ$, піску $W^П$ і наповнювача W^H , товщину прошарку між зернами щебеню приймають рівною середньому діаметру найбільш представницької фракції піску $d^П$, між зернами піску - середньому діаметру найбільш представницької фракції цементу $d^Ц$, а між частками найбільш представницької фракції цементу - одиничному

$d_{МИН}^Ц$ чи подвоєному $2d_{МИН}^Ц$ середньому діаметру мінімальної фракції цементу, визначають відношення питомих поверхонь наповнювача і цементу за вираженням $s^H/s^Ц = d^Ц \cdot \rho^Ц / (d^H \cdot \rho^H)$, з урахуванням цих величин визначають оптимальні коефіцієнти розсіву зерен щебеню $\alpha_{ОПТ}$, піску $\mu_{ОПТ}$ і часток цементу $\lambda_{ОПТ}$ за формулами:

$$R_{28} = B / (1 - 1.64 \cdot v) \quad (1)$$

$$R_{ПП} = K_{ПР} \cdot B / (0.098 \cdot (1 - 1.64 \cdot v))$$

$$\alpha_{ОПТ} = 2.1 \cdot \left(1 + \frac{d^П}{d^Щ} \right)^3 - 1.1 \quad (2)$$

$$\mu_{ОПТ} = 2.1 \cdot \left(1 + \frac{d^Ц}{d^Щ} \right)^3 - 1.1$$

$$\lambda_{ОПТ} = 2.1 \cdot \left(1 + \frac{n \cdot d_{МИН}^Ц}{d_{МАКС}^Ц} \right)^3 - 1.1 \quad (3)$$

як для $n=1$, так і для $n=2$, визначають витрати щебеню, піску і об'єм наповненого цементного тіста

$$\Psi = \frac{1000}{\alpha_{ОПТ} \cdot \frac{\Pi_{УС}^Щ}{\rho_{НАС}^Щ} + \frac{1}{\rho^Щ}} \quad (4)$$

$$\Pi = \frac{1000 - \frac{\Psi}{\rho^Щ}}{\mu_{ОПТ} \cdot \frac{\Pi_{УС}^П}{\rho_{НАС}^П} + \frac{1}{\rho^П}} \quad (5)$$

$$V_{m}^{ЦНВ} = 1000 - \frac{\Psi}{\rho^Щ} - \frac{\Pi}{\rho^П} \quad (6)$$

з урахуванням яких розраховують початковий вміст цементу $Ц_0$ і води B_0 у ненаповненому цементному тісті:

$$Ц_0 = \frac{1000 - \frac{\Psi}{\rho^Щ} - \frac{\Pi}{\rho^П}}{\frac{1}{\rho^Ц} + \left(\frac{В}{Ц} \right)_{ОПТ}} \quad (7)$$

$$B_0 = Ц_0 \cdot \left(\frac{В}{Ц} \right)_{ОПТ} + \Pi \cdot W^П + \Psi \cdot W^Щ \quad (8)$$

водоцементне відношення для бетону заданої міцності без наповнювача $\frac{B_0}{Ц}$, приймаючи $k^H=1$,

$$\frac{B_0}{Ц} = \frac{1}{\frac{R_B}{R_{ЦК}} \cdot \frac{1}{k^H} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1.9 \cdot A} \pm \left(\left(\frac{R_B}{R_{ЦК}} \cdot \frac{1}{k^H} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1.9 \cdot A} \right)^2 + \frac{R_B}{R_{ЦК}} \cdot \frac{1}{k^H} \cdot \frac{\rho^Ц}{1.9 \cdot A} \right)^{0.5}} \quad (9)$$

початкове відношення кількісного вмісту наповнювача до кількісного вмісту цементу

$$\left(\frac{H}{Ц} \right)_0 = \left(\frac{Ц_0}{B_0} \cdot \frac{B_0}{Ц} \cdot \frac{1}{\rho^Ц} - \frac{1}{\rho^Ц} \right) \cdot \rho^H \quad (10)$$

коефіцієнт розсунення часток цементу за виразом

$$\lambda_{\text{Ц}} = \frac{B_0 + \frac{B_0}{\left(\frac{B_0}{\text{Ц}}\right)_0} \cdot \left(\frac{\text{H}}{\text{Ц}}\right)_0 \cdot \frac{1}{\rho_{\text{Ц}}}}{\frac{B_0}{\text{Ц}} \cdot \frac{\Pi_{\text{ПУС}}^{\text{Ц}}}{\rho_{\text{НАС}}^{\text{Ц}}}} \quad (11)$$

з урахуванням $\left(\frac{\text{H}}{\text{Ц}}\right)_0$ визначають відношення площі поверхні наповнювача до площі поверхні цементу $s^{\text{H}}/s^{\text{Ц}} = \left(\frac{\text{H}}{\text{Ц}}\right)_0 \cdot \frac{1}{\gamma_{\text{Ц}}} \cdot \frac{s^{\text{H}}}{s^{\text{Ц}}}$ і при $s^{\text{H}}/s^{\text{Ц}} < 0.5$

приймають $\lambda_{\text{ОПТ}}^{\text{Ц}}$ для $n=2$, а при $s^{\text{H}}/s^{\text{Ц}} > 0.5$ - для $n=1$, при яких визначають коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону

$$k^{\text{H}} = \left(\frac{\lambda_{\text{Ц}}}{\lambda_{\text{ОПТ}}^{\text{Ц}}} \right)^{0,333} \quad (12)$$

При $k^{\text{H}} > 1$ частину цементу замінюють наповнювачем, для чого по (9) з урахуванням k^{H} за (12) визначають водоцементне відношення $\left(\frac{B_0}{\text{Ц}}\right)_{\text{H}}$, що забезпечує задану міцність бетону з наповнювачем, визначають остаточне відношення кількості наповнювача до кількості цементу $\frac{\text{H}}{\text{Ц}}$ за виразом

$$\frac{\text{H}}{\text{Ц}} = \left[\frac{\text{Ц}_0}{B_0} \cdot \left(\frac{B_0}{\text{Ц}}\right)_{\text{H}} - 1 \right] \cdot \frac{\rho_{\text{H}}}{\rho_{\text{Ц}}} \quad (13)$$

а потім кількісний вміст цементу, наповнювача і води за виразами:

$$\text{Ц} = \frac{\sqrt{\text{Ц}^{\text{HВ}}}}{\left(\frac{1}{\rho_{\text{Ц}}} + \left(\frac{B}{\text{Ц}}\right)_{\text{ОПТ}} \right) + \frac{\text{H}}{\text{Ц}} \cdot \left(\frac{1}{\rho_{\text{H}}} + W^{\text{H}} \right)} \quad (14)$$

$$\text{H} = \text{Ц} \cdot \left(\frac{\text{H}}{\text{Ц}}\right) \quad (15)$$

$$\text{B} = \text{Ц} \cdot \left(\frac{B}{\text{Ц}}\right)_{\text{ОПТ}} + \text{H} \cdot W^{\text{П}} + \Pi \cdot W^{\text{П}} + \text{Щ} \cdot W^{\text{Щ}} \quad (16)$$

де n - кількість рядків цементних частинок розміром $d_{\text{МИН}}^{\text{Ц}}$ У прошарку між частинками розміром $d^{\text{Ц}}$;

$R_{\text{Б}}$ -, $R_{\text{ЦК}}$ - еквівалентні (28 діб або після пропарювання) міцність бетону і активність цементу, МПа;

A - коефіцієнт якості матеріалів;

Щ , Π , Ц і B - кількісний вміст у бетонній суміші щебеню, піску, цементу ($\text{кг}/\text{м}^3$) і води ($\text{л}/\text{м}^3$);

$\Pi_{\text{ПУС}}^{\text{Щ}}$, $\Pi_{\text{ПУС}}^{\text{П}}$ - пустотність щебеню і піску в насипному стані;

$\rho_{\text{НАС}}^{\text{Щ}}$, $\rho_{\text{НАС}}^{\text{П}}$ - насипна щільність щебеню і піску, $\text{т}/\text{м}^3$;

$\rho_{\text{Щ}}$, $\rho^{\text{П}}$, $\rho^{\text{Ц}}$ - істинна щільність щебеню і піску, $\text{т}/\text{м}^3$;

$d^{\text{Щ}}$, $d^{\text{П}}$ - середні розміри фракцій щебеню і піску, що мають максимальну густину розподілу, мм;
 $\gamma^{\text{Ц}}$ - масова доля частинок цементу, крупніша

за $d_{\text{МИН}}^{\text{Ц}}$

$\left(\frac{B}{\text{Ц}}\right)_{\text{ОПТ}}$ - оптимальне водоцементне відношення;

$\sqrt{\text{Ц}^{\text{HВ}}} = 1000 - \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{Щ}}} - \frac{\Pi}{\rho^{\text{П}}}$ - об'єм тіста із цементу, наповнювача і води, $\text{л}/\text{м}^3$.

Крім того, визначають величини і будують криві розрахункової $\rho_{\text{Р}}^{\text{СМ}}$ і експериментальної $\rho_{\text{Е}}^{\text{СМ}}$ щільності сумішей води B з піском і цементом або наповнювачем H в залежності від коефіцієнта розсунення зерен піску μ або відношення B/H , за екстремальними крапками наближення експериментальної кривої до теоретичної визначають відповідні оптимальні коефіцієнти розсунення $\mu_{\text{ОПТ}}$ і

$\lambda_{\text{ОПТ}}$, пустотність наповнювача $\Pi_{\text{ПУС}}^{\text{H}}$, його водо-потрібність W^{H} і, знаючи розмір часток піску, визначають розмір часток цементу $d^{\text{Ц}}$ або наповнювача d^{H} за формулою

$$d_{\text{Ц, H}} = \left(\left(\frac{\mu_{\text{ОПТ}} + 1,1}{2,1} \right)^{0,333} - 1 \right) \cdot d^{\text{П}}/n \quad (17)$$

де n - кількість рядків цементних часток чи часток наповнювача між зернами піску.

Використання наповнювача, розмір частинок найбільш представницької фракції якого наближається до розміру відповідних цементних, але не перевищує його, забезпечує більш стабільну залежність міцності бетону від $n/\text{Ц}$.

Визначення оптимального відношення $(B/\text{Ц})_{\text{ОПТ}}$ і величин $W^{\text{Щ}}$, $W^{\text{П}}$ і W^{H} разом із дією суперпластифікатора дозволяє виключити вільну воду зі складу бетонної суміші при збереженні її високої зручності укладальності.

Прийняття оптимальних товщин прошарків між зернами щебеню $\delta^{\text{Щ}} = d^{\text{П}}$ і піску $\delta^{\text{П}} = d^{\text{Ц}}$, а також експериментальне визначення розмірів $d^{\text{Ц}}$ і $d^{\text{П}}$ забезпечують високі показники недеформованості і водонепроникності бетону.

Визначення $\alpha_{\text{ОПТ}}$, $\mu_{\text{ОПТ}}$ і $\lambda_{\text{ОПТ}}$ і з урахуванням цих величин Щ , Π і k^{H} забезпечує підвищення недеформованості і водонепроникності бетону.

Рівняння (9) є рішенням рівняння для бетону з наповнювачем

$$R_{\text{Б}} = 1,9AR_{\text{Ц}}k^{\text{H}} \cdot \frac{\left(\frac{\text{Ц}}{B}\right)^2}{\frac{\text{Ц}}{B} + \rho^{\text{Ц}}}$$

яке витікає з рівняння в [Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дисс. докт. хим. наук. - 02.00.11.- Харьков: ХИИТ, 1989.- 270с.] і найбільш точно відображає закон водоцементного (цементно-

водного) відношення для бетону з портландцементу. Тому визначення $V_0 / \text{Ц}$ за (9) та $R_{\text{ц}}$ в залежності від v за (1) обумовлює більш високу надійність забезпечення класу бетону V з міцності.

Визначення V_0 і Ц_0 а також V за (16) виключає вільну воду з бетонної суміші, знижує до мінімуму водопроникність і деформативність бетону.

Визначення $H/\text{Ц}$ за (13) і з урахуванням цього Ц та H за (14) та (15) забезпечує зниження витрати цементу і збільшення міцності бетону.

Визначення величин і побудова кривих розрахункової $\rho_{\text{р}}^{\text{сМ}}$ і експериментальної $\rho_{\text{е}}^{\text{сМ}}$ щільності водних сумішей піску з цементом або наповнювачем у залежності від їх співвідношення дозволяє з високою точністю і швидкістю визначити величини $\mu_{\text{опт}}$ або $\lambda_{\text{опт}}$, $\text{Пус}^{\text{н}}$ і $\text{W}^{\text{н}}$, а також $d^{\text{ч}}$ або $d^{\text{н}}$ за (17).

Сутність винаходу пояснюється схемами і графіками, на яких зображено:

Фіг.1 і 2. Залежність міцності при стиску R (Фіг.1) і щільності ρ (Фіг.2) цементного каменю від водоцементного відношення $V/\text{Ц}$ на 28 добу твердіння [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 / ХИСИ.- Харьков, 1994. - 245с.].

Фіг.3-6. Схема прошарків менших за розміром частинок між структуроутворюючими елементами СЭ: для бетону Щ-П-Щ, для розчину П-ЦЧ⁵⁰-П, для цементного тіста ЦЧ⁵⁰-ЦЧ⁵-ЦЧ⁵⁰, де Щ, П, ЦЧ⁵⁰ - зерна щебеню, піску та частинки цементу найбільш представницької фракції $d^{\text{ч}} \approx 50$ мкм, ЦЧ⁵ - частинки цементу найменшої за розміром фракції ($d_{\text{мин}}^{\text{ч}} \approx 5$ мкм).

Фіг.7. Залежність міцності бетону R_6 , МПа від $\text{Ц}/V$:

—○— розрахункова залежність за винаходом;

—△— розрахункова залежність за способом прототипом;

—◆— експериментальна залежність.

Фіг.8. Залежність міцності бетону при стиску R від витрат цементу Ц :

—◆— експериментальна залежність за винаходом;

—▲— експериментальна залежність за традиційним способом.

Фіг.9. Залежність витрат цементу Ц від міцності при стиску R у бетонах:

—◆— експериментальна залежність за винаходом;

—▲— експериментальна залежність за традиційним способом.

Фіг.10. Зміна у часі T міри повзучості S в стиснутій зоні бетонних зразків-балок при вигині і гранична міра повзучості при стиску звичайного бетону: нижні криві – за винаходом (усіх складів); верхня крива

(—○—) - звичайного бетону (для рівня навантаження 0,6).

Фіг.11. Залежність безнапірної водопроникності W від водоцементного відношення $V/\text{Ц}$ для бетону за винаходом (порожні кружки) і порівняної водопроникності звичайного бетону за традиційним способом (темні ромбики).

Фіг.12. Залежність щільності ρ суміші піску дрібного, наповнювача (кварцовий піл) і води $\text{П}+\text{Н}+\text{В}$ від коефіцієнта розсунення μ зерен піску сумішшю з наповнювача і води $\text{Н}+\text{В}$.

Фіг.13. Залежність щільності ρ суміші наповнювача (кварцовий піл) з водою $\text{Н}+\text{В}$ від відсоткового відношення $V/\text{Н}$.

Фіг.14. Залежність щільності $\rho^{\text{нВ}}$ суміші наповнювача (кварцовий піл) з водою $\text{Н}+\text{В}$ від відсоткового відношення $V/\text{Н}$ у інтервалі $V/\text{Н}$ від 0 до 35%.

За графіками на Фіг.1, 2 видно, що при $(V/\text{Ц}) = 0,23$ спостерігається найбільша міцність і щільність цементного каменю. Отже, $(V/\text{Ц})_{\text{опт}} = 0,23$.

З схем на Фіг.3÷6 видно, що при формуванні прошарку між СЕ з одного чи двох повних рядів менших частинок, виникають максимальна щільність, недеформовуваність і непроникність прошарків, що пояснює сутність $\alpha_{\text{опт}}$, $\mu_{\text{опт}}$ і $\lambda_{\text{опт}}^{\text{ч}}$ (Фіг.4, 6).

У ненаповненому цементному тісті частинки ЦЧ^5 , яких у цементі значна кількість, адагулюються на ЦЧ^{50} , так що між останніми формується прошарок, товщина якого залежить від $V/\text{Ц}$. При $(V/\text{Ц})_{\text{опт}} = 0,23$ він складається з двох повних рядів ЦЧ^5 ($\delta = 2d_{\text{мин}}^{\text{ч}}$), структура цементного каменю стає оптимальною. У цементному тісті з наповнювачем частинки ЦЧ^5 адагулюють також на частинках наповнювача НЧ , що призводить до зменшення товщини прошарку до $\delta = d_{\text{мин}}^{\text{ч}}$, і коли він буде складатися з повного ряду частинок ЦЧ^5 , структура наповненого цементного тіста теж стає оптимальною (Фіг.4). При цьому частинки НЧ , обмережені частинками ЦЧ^5 , заповнюють порожнечі між ЦЧ^{50} , збільшуючи міцність бетону. Таким чином, для ненаповненого цементного тіста $\lambda^{\text{ч}} = \lambda_{\text{опт}}^{\text{ч}}$, при $n = 2$, а для наповненого - при $n = 1$.

Графіки на Фіг.7 наочно підтверджують більш високу точність рівняння (9) для визначення $V/\text{Ц}$ за винаходом, у порівнянні з традиційним способом. Розрахункова крива по (9) дає високий ступінь збігу з експериментальною кривою. Традиційне рівняння $\text{Ц}/V$ не тільки сильно відхиляється від експериментальної кривої для бетону з наповнювачем, але й дає аномальні результати розрахунку міцності (негативні значення) при високих значеннях $V/\text{Ц}$.

Приклад 1

Оцінку ефективності винаходу здійснювали шляхом порівняння складів бетону і даних випро-

бувань зразків, одержаних за винаходом, за способом-прототипом і традиційним способом.

1.1. Визначають за способом-прототипом склад бетону класу 525 із бетонної суміші з суперпластифікатором "Дофен" і рухливістю ОК=1÷4 см.

Середня міцність на 28 добу і після пропарювання за ГОСТ 25192-82

$$R_{28} = B / (1 - 1,64 \cdot v),$$

$$R_{пп} = k_{пр} \cdot B / (0,098 \cdot (1 - 1,64 \cdot v)),$$

де: 5 - клас бетону, МПа; 1,64 - статистичний коефіцієнт; v - коефіцієнт варіації міцності бетону; $k_{пр}$ - коефіцієнт пропарювання.

Згідно з досвідом, коефіцієнт варіації міцності бетону такого класу може бути прийнятим $v=0,145$, а $k_{пр} = 0,7$, з урахуванням чого

$$R_{пп} = 0,7 \cdot 25 / (0,098 \cdot (1 - 1,64 \cdot 0,145)) = 23 \text{ МПа.}$$

Використовувані матеріали: портландцемент ПЦ500 (активність після пропарювання $R_{ц} = 0,7 \cdot 500 / 10 = 35 \text{ МПа}$), питома поверхня

$s^ц = 3000 \text{ см}^2/\text{г}$; істинна щільність $\rho^ц = 3,1 \text{ т/м}^3$, насипна щільність в ущільненому стані

$\rho_{нас}^ц = 1,8 \text{ т/м}^3$, пустотність $\text{Пус}^ц = 0,42$, середній розмір найбільш представницької фракції $d^ц = 0,05 \text{ мм}$; щебінь гранітний крупністю 20мм,

насипна щільність $\rho_{нас}^щ = 1,4 \text{ т/м}^3$, істинна щільність

$\rho^щ = 2,6 \text{ т/м}^3$, 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 щільність $\rho_{нас}^п = 1,43 \text{ т/м}^3$,

істинна щільність $\rho^п = 2,65 \text{ т/м}^3$, пустотність

$\text{Пус}^п = 0,46$, середній розмір найбільш представницької фракції $d^п = 0,23 \text{ мм}$; наповнювач - кварцовий пил, середній розмір часток менше, ніж у цементу, істинна щільність $\rho^п = 2,65 \text{ т/м}^3$, $\text{Пус}^п = 0,48$; суперпластифікатор Дофен (концентрація за ТУ-1%).

Визначають за табл.1, узятою із [Цементные бетоны с минеральными наполнителями / Дворкин Л.И., Соломатов В.И., Выровой В.И., Чудновский С.М.- К.: Будівельник, 1991.- 136с., стор.114], для бетонної суміші з ОК=1÷4 см товщину обмазки цементного тіста на частках наповнювача $\delta^п = 1,0 \text{ мкм}$, або $0,001 \text{ мм}$ (як для золи меленої з питомою поверхнею $s = 5000 \text{ см}^2/\text{г}$), товщину обмазки наповненого цементного тіста на зернах піску $\delta^п = 15 \text{ мкм}$ ($0,015 \text{ мм}$) і товщину обмазки розчину на зернах щебеню $\delta^щ = 160 \text{ мкм}$ ($0,16 \text{ мм}$).

Таблица 1

Значення середньої товщини обмазки

Рухливість ОК, см	Відходи виробн. Феросиліцію ОПФ, мм	Зола	Зола мелена $s = 5000 \div 7000 \text{ см}^2/\text{г}$	Мартенівський шлак мелений $s = 1000 \div 3000 \text{ см}^2/\text{г}$	Пісок дрібний	Пісок крупний	Щебінь 20мм
0-1	0,0001	0,001	0,0005	0,0020	0,008	0,010	0,12
1-4	0,0005	0,002	0,0010	0,0025	0,015	0,025	0,16
4-15	0,0008	0,002	0,0015	0,0030	0,020	0,030	0,15
понад 15	0,001	0,004	0,0030	0,0040	0,025	0,040	0,18

З урахуванням цих даних визначають за (1.п), (3.п), (4.п), (5.п), (6.п):

- об'ємну концентрацію наповнювача в цементному тісті

$$C_H^1 = (1 - 0,48) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 1}{37}\right)^{-3} = 0,44;$$

- об'ємну концентрацію піску в розчині

$$C_{п}^2 = (1 - 0,46) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0,015}{0,23}\right)^{-3} = 0,37;$$

- об'ємну концентрацію наповненого цементного тіста

$$C_{цнт}^2 = \left(1 - 0,37\right)^{-3} = 0,63;$$

- об'ємну концентрацію щебеню в бетоні

$$C_{щ}^3 = (1 - 0,47) \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0,16}{20}\right)^{-3} = 0,505;$$

- об'ємну концентрацію розчину в бетоні

$$C_{р}^3 = \left(1 - 0,505\right)^{-3} = 0,495$$

Потім за (7.п) і (8.п) визначають концентрації наповнювача і піску на 1 м^3 бетонної суміші:

$$C_H = 0,44 \cdot 0,63 \cdot 0,495 = 0,138,$$

$$C_{п} = 0,37 \cdot 0,495 = 0,185,$$

а по (9.п), (10.п) і (11.п) - об'ємні та масові витрати наповнювача, піску і щебеню на 1 м^3 бетонної суміші

$$V_H = 0,138 \cdot 1000 = 138 \text{ л/м}^3$$

$$H = 0,138 \cdot 2,65 \cdot 1000 = 364 \text{ кг/м}^3$$

$$V_{п} = 0,185 \cdot 1000 = 185 \text{ л/м}^3$$

$$П = 0,185 \cdot 2,65 \cdot 1000 = 490 \text{ кг/м}^3$$

$$V_{щ} = 0,505 \cdot 1000 = 505 \text{ л/м}^3$$

$$Щ = 0,505 \cdot 2,65 \cdot 1000 = 1339 \text{ кг/м}^3$$

Підставляючи у (12.п) відповідні об'ємні витрати, а також значення $V^{BB} = 5 \text{ л}$, що рекомендовано у [Строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И.Соломатов, В.И.Выровой, В.С.Дорофеев, А.В.Сиренко.- К.: Будівельник, 1991.- 144с.] для неактивного наповнювача, одержують об'єм цементного тіста в 1 м^3 бетонної суміші

$$V_{wn} = 1000 - 138 - 185 - 505 - 5 = 167 \text{ л/м}^3.$$

Потім при середньому коефіцієнті якості матеріалів $A=0,55$, середній після пропарювання міцно-

сті бетону $R_{\text{пн}} = 23 \text{ МПа}$, активності цементу після пропарювання $R_{\text{пн}}^{\text{II}} = 50 \cdot 0.7 = 35 \text{ МПа}$ і при коефіцієнті активності $k=0$ (для неактивного наповнювача) визначають за (13.п) цементно-водяне відношення:

$$Ц/V = 23 / (0.55 \cdot 35) + 0.5 - 0 = 1.69.$$

Значення $V_{\text{цт}}$ і $Ц/V$ підставляють у (14.п) і (15.п), визначаючи водоутримання бетонної суміші і витрату цементу

$$V = 167 \cdot 3.1 / (3.1 + 1.69) = 108 \text{ л/м}^3,$$

$$Ц = (167 - 108) \cdot 3.1 = 59 \cdot 3.1 = 183 \text{ кг/м}^3.$$

Остаточний склад: $Ц = 183 \text{ кг/м}^3$; $Н = 364 \text{ кг/м}^3$; $П = 490 \text{ кг/м}^3$; $Щ = 1339 \text{ кг/м}^3$; $В = 108 \text{ л/м}^3$.

Перевірка:

- середня щільність бетону
 $\rho_{\text{ср}} = 183 + 364 + 490 + 1339 + 108 = \text{кг/м}^3$.

- об'єм бетону
 $V_{\text{б}} = 183/3.1 + 364/2.65 + 490/2.65 + 1339/2.65 + 108 = 59 + 137.3 + 184.9 + 505.3 + 108 = 994.5 \text{ л}$.

Подібним образом розраховують склади для бетонів класів В12,5; В35, В40, В50 та В55 із бетонних сумішей з ОК=1÷4см. Відповідні значення середньої міцності бетону після пропарювання 9,7МПа, 33,2МПа, 35,7МПа, 41,9МПа та 45,3МПа при коефіцієнтах варіації 0,15; 0,16; 0,132, 0,10 та 0,092, відповідно. Розраховані склади цих бетонів наведені у табл.2, серія 1. 1.2. Визначають за винаходом склад такого ж бетону, як у способі-прототипі - клас В25 із бетонної суміші з суперпластифікатором "Дофен" рухливістю ОК=1÷4см, середня відпускна міцність 23МПа.

Матеріали - ті ж самі.

Експериментально визначають за стандартною методикою, наприклад [Лифанов И.С, Шерстюков Н.Г. Метрология, средства и методы контроля качества в строительстве. М: Стройиздат, 1979.- 224с.], водопоглинання щебеню $W^{\text{Щ}}$ і піску $W^{\text{п}}$, які склали $W^{\text{Щ}} = 0.00575$ і $W^{\text{п}} = 0.12$.

Виконують на стандартних ситах розсів за фракціями щебеню і піску, за результатами розсіву визначають середній розмір фракцій щебеню і піску, що мають максимальну густину розподілу ($d^{\text{Щ}} = 15 \text{ мм}$ і $d^{\text{п}} = 0.23 \text{ мм}$, відповідно).

Установлюють шляхом седиментації середні розміри мінімальної за розміром і найбільш представницької за масою фракцій цементу ($d_{\text{мін}}^{\text{ц}} = 5 \text{ мкм} = 0.0005 \text{ мм}$, $d^{\text{ц}} = 50 \text{ мкм} = 0.05 \text{ мм}$) і середній розмір найбільш представницької фракції наповнювача ($d^{\text{н}} = 37 \text{ мкм} = 0.037 \text{ мм}$).

З урахуванням зазначених середніх розмірів фракцій визначають за (1), (2) і (3) коефіцієнти розсунення зерен щебеню, піску і цементу:

$$\alpha_{\text{ОПТ}} = 2.1 \cdot \left(1 + \frac{0.23}{15}\right)^3 - 1.1 = 1.1,$$

$$\mu_{\text{ОПТ}} = 2.1 \cdot \left(1 + \frac{0.05}{0.23}\right)^3 - 1.1 = 2.7,$$

$$\lambda_{\text{ОПТ}} = 2.1 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 0.005}{0.05}\right)^3 - 1.1 = 2.53,$$

Підставляючи ці величини в (4), (5) і (6) визначають кількісний вміст у бетонній суміші щебеню,

піску і об'єм наповненого цементного тіста:

$$\text{Щ} = \frac{1}{\frac{\alpha_{\text{ОПТ}} \cdot \rho_{\text{НАС}}^{\text{Щ}}}{\rho_{\text{Щ}}} + \frac{1}{\rho_{\text{Щ}}}} = \frac{1000}{\frac{1.1 \cdot 0.47}{1.4} + \frac{1}{2.65}} = 1343 \text{ кг/м}^3,$$

$$\text{П} = \frac{1 - \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{Щ}}}}{\frac{\mu_{\text{ОПТ}} \cdot \rho_{\text{НАС}}^{\text{П}}}{\rho_{\text{П}}} + \frac{1}{\rho_{\text{П}}}} = \frac{1000 - \frac{1343}{2.65}}{\frac{2.7 \cdot 0.46}{1.43} + \frac{1}{2.65}} = 397 \text{ кг/м}^3,$$

$$V_{\text{ЦНВ}} = 1000 - \frac{1343}{2.65} - \frac{397}{2.65} = 343 \text{ л/м}^3$$

а за виразами (7) і (8) - початковий вміст цементу $Ц_0$ і води $В_0$

$$Ц_0 = \frac{1000 - \frac{1343}{2.65} - \frac{397}{2.65}}{\frac{1}{3.1} + 0.23} = 517 \text{ кг/м}^3$$

$$В_0 = 517 \cdot 0.23 + 397 \cdot 0.12 + 1343 \cdot 0.0075 = 177 \text{ л/м}^3.$$

Потім за (9) визначають $В_0/Ц$, приймаючи

$k^{\text{H}} = 1$, $A = 0.55$, а за (10) - початкове відношення наповнювача до цементу $(Н/Ц)_0$

$$\left(\frac{В_0}{Ц}\right) = \frac{1}{\frac{23}{35} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1.9 \cdot 0.55} \pm \left(\left(\frac{23}{35} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1.9 \cdot 0.55} \right)^2 + \frac{23}{35} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{3.1}{1.9 \cdot 0.55} \right)^{0.5}} = 0.57$$

$$\left(\frac{Н}{Ц}\right)_0 = \left(\frac{517}{177} \cdot 0.57 - 1 \right) \cdot \frac{2.65}{3.1} = 0.58$$

з урахуванням яких визначають за (11) і (12) коефіцієнт розсунення часток цементу $\lambda^{\text{ц}}$ сумішшю наповнювача і води (без урахування води на змочування заповнювачів) і коефіцієнт впливу наповнювача на міцність бетону k^{H}

$$\lambda^{\text{ц}} = \frac{177 + 177 \cdot 0.28 / 0.57 / 2.65}{177 \cdot 0.42 / 0.57 / 1.8} = 3.39$$

$$k^{\text{H}} = \left(\frac{2.697}{2.53} \right)^{0.333} = 1.26$$

Так як $k^{\text{H}} > 1$, частину цементу замінюють наповнювачем, для чого, підставляючи у (98) величину k^{H} , визначають водоцементне відношення $В_0/Ц$, що забезпечує задану міцність бетону з наповнювачем,

$$\left(\frac{В_0}{Ц}\right) = \frac{1}{\frac{23}{35} \cdot \frac{1}{1.26} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1.9 \cdot 0.55} \pm \left(\left(\frac{23}{35} \cdot \frac{1}{1.26} \cdot \frac{1}{2 \cdot 1.9 \cdot 0.55} \right)^2 + \frac{23}{35} \cdot \frac{1}{1.26} \cdot \frac{3.1}{1.9 \cdot 0.55} \right)^{0.5}} = 0.656$$

за (11) визначають остаточне кількісне співвідношення наповнювача і цементу $Н/Ц$:

$$\frac{Н}{Ц} = \left(\frac{517}{177} \cdot 0.656 - 1 \right) \cdot \frac{2.65}{3.1} = 1.062,$$

потім за (14), (15) і (16) - кількісний вміст цементу, наповнювача і води:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{343 - 397 \cdot 0,12 - 1343 \cdot 0,0075}{\left(\frac{1}{3,1} + 0,23\right) + 1,062 \cdot \left(\frac{1}{2,65} + 0,23\right)} = 238 \text{ кг/м}^3,$$

$$H = 238 \cdot 1,062 = 253 \text{ кг/м}^3,$$

$$V = 238 \cdot 0,23 + 253 \cdot 0,23 + 397 \cdot 0,12 + 1343 \cdot 0,0075 = 171 \text{ л/м}^3,$$

і нарешті кількісний вміст суперпластифікатора (1% від маси цементу)

$$\text{СП} = 238 \cdot 0,01 = 2,38 \text{ кг/м}^3$$

Кінцевий склад: $\rho_{\text{ср}} = 238 \text{ кг/м}^3$; $H = 253 \text{ кг/м}^3$;
 $P = 397 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{\text{щ}} = 1343 \text{ кг/м}^3$; $V = 171 \text{ л/м}^3$;
 $\text{СП} = 2,38 \text{ кг/м}^3$.

Перевірка на безпомилковість визначення складу:

$$\rho_{\text{ср}} = \text{середня щільність бетону} = 238 + 253 + 397 + 1343 + 171 = 2403 \text{ кг/м}^3.$$

$$V_{\text{б}} = \text{об'єм бетону} = 238/3,1 + 253/2,65 + 397/2,65 + 1343/2,65 + 171 = 76,8 + 95,5 + 149,8 + 506,8 + 171 = 1000 \text{ л}.$$

Подібним образом розраховують склади для бетонів класів В12,5; В35, В40, В50, та В55 із бетонних сумішей з ОК=1÷4 см. Відповідні значення середньої міцності бетону після пропарювання 9,7МПа, 33,2МПа, 35,7МПа, 41,9МПа та 45,3МПа при коефіцієнтах варіації 0,15; 0,16; 0,132, 0,10 та 0,092, відповідно. Розраховані склади цих бетонів наведені у табл.2, серія 2.

1.3. Визначають за традиційним способом [Руководство по подбору составов тяжелого бетона / НИИЖБ.- М.: Стройиздат, 1979.-103с.], 6 складів такого ж бетону, як у способі-прототипі та у пропонуемому способі - класи В12,5; В25; В35, В40, В50 та В55 із бетонної суміші без суперпластифікатора рухливістю ОК=1÷4 см. Відповідні розрахунки не наводимо з-за їх загальновідомості. Розраховані склади цих бетонів наведені у табл.2, серія 3.

За складами 2-ї та 3-ї серій, виготовлюють бетонні суміші, визначають їх зручноукладальність: осадку конуса ОК і вібророзтічність ВР (жорсткість за спрощеним способом Скрамтаєва) Ж. З цих бетонних сумішей формують по 6 бетонних зразків-кубів 10×10×10см, а в серії 2, крім того, - по 4 бетонних зразка-балки перетином 5×10×50см.

З зразки-куби і 4 зразки-балки пропарюють за стандартним режимом, інші 3 зразки-куби витримують у стандартних умовах 28 діб, після чого 3 пропарених і 3 витриманих у природних умовах зразка-куба випробують на стиск, а 3 зразка-балки - на згин.

По одній половинці із зразків-балок, що залишилися після випробування на згин, випробують на безнапірну водопроникність [А.с. №1561661. 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, випробують на деформації при згині також протягом тривалого часу. Результати випробувань на стиск $R_{\text{ст}}$, МПа, згин $R_{\text{зг}}$, МПа, безнапірну проникність (коефіцієнт безнапірної фільтрації $K_{\text{ф}}$, см/с і водопоглинання за масою $W_{\text{т}}$, %) приведені на Фіг. 4÷7.

Порівняння способів за складами і результатами випробувань показує:

- склади бетонів, визначені за способом-прототипом (1 серія), мають занадто низькі витрати води, які до того ж залежать від міцності бетону. Так, для бетонних сумішей з ОК=1÷4 см витрати води зменшуються (зі 136 до 87л/м³) при збільшенні класу бетону з 12,5 до 55МПа, що, як відзначалося, суперечить існуючим залежностям і не забезпечує необхідну рухливість бетонної суміші. У той же час спосіб, що пропонується, а також традиційний спосіб не мають цих недоліків.

- на відзнаку від способу-прототипу в розрахунках за винаходом (2 серія) і традиційним способом (3 серія) склади бетонів позбавлені цих недоліків, вони мають для тих же складів по заданим міцності і зручноукладальності приблизно однакові витрати води: від 177 до 169л (склад із суперпластифікатором за винаходом) і від 199 до 188л (склад без суперпластифікатора за традиційним способом);

- бетони, виготовлені за винаходом (серія 2), мають у порівнянні з традиційним способом (серія 3), значно більш високі питомі міцності при однакових витратах цементу (Фіг.4), і набагато менші витрати цементу при однаковій міцності бетону (Фіг.5). При цьому забезпечується задана міцність бетону і зручноукладальність бетонної суміші.

- бетони, виготовлені за винаходом, мають у порівнянні зі звичайними бетонами набагато менші (на 1÷2 порядки) величини водопроникності W і граничної міри повзучості C (Фіг.6), (Фіг.7).

Результати порівняння свідчать про високу ефективність способу визначення складів бетону за винаходом, що полягає в істотному зниженні витрати цементу (до 1,9 рази) для бетонів середньої і низької міцності при значному поліпшенні показників довговічності залізобетонних конструкцій - відносних деформацій, зокрема довгострокової повзучості бетону, і безнапірної водопроникності.

Таблиця 2

Результати розрахунку складів бетону за способом-прототипом, за винаходом і традиційним способом для одержання заданих рухливості ОК і К та міцності на стиск після 28 діб природного твердіння R_{628} і після пропарювання $R_{\text{бпн}}$, МПа

Показник	Склади бетону (витрата компонентів), кг/м ³ , різних серій для одержання ОК, см. Ж, с, класу В, МПа та середньої міцності після пропарки $R_{\text{бпн}}$, МПа					
	1 - за способом-прототипом, з наповнювачем і суперпластифікатором					
Серія	1 - за способом-прототипом, з наповнювачем і суперпластифікатором					
ОК, см (Ж, с)	1 ÷ 4, (7 ÷ 16)					
В, МПа	12,5	25	35	40	50	55
v, %	15	14,5	16	13,2	10	9,2
$R_{\text{бпн}}$, МПа	11,6	23	33,2	35,7	41,9	45,3
Ц	136	183	217	224	240	249
Н	364	364	364	364	364	364
П	490	490	490	490	490	490
Щ	1339	1339	1339	1339	1339	1339
В	136	108	97	95	90	87
В/Ціст	0,34	0,17	0,09	0,08	0,05	0,04
Серія	2 - за винаходом, з наповнювачем і суперпластифікатором					
ОК, см (Ж, с)	1 ÷ 4, (7 ÷ 16)					
В, МПа	12,5	25	35	40	50	55
v, %	15	14,5	16	13,2	10	9,2

R _{бнн} , МПа	11,6	23	33,2	35,7	41,9	45,3
Ц	138	238	333	396	469	515
Н	344	253	167	110	44	3
П	397	397	397	397	397	397
Щ	1343	1343	1343	1343	1343	1343
в	169	171	173	174	176	177
В/Ц _{іст}	0,8	0,47	0,34	0,29	0,25	0,23
R _{енн}	11,00	24,40	33,90	33,90	41,50	43,40
Серія	3 - за традиційним способом, без наповнювача і суперпла-стифікатора,					
ОК, см (Ж, с)	1 ÷ 4, (7 ÷ 16)					
ДМПа	12,5	25	35	40	50	
v, %	15	14,5	16	13,2	10	
R _{бнн} , МПа	11,6	23	33,2	35,7	41,9	
ОК, см	4,0	2,3	0,35	0,15	0,25	
Ж, с	6	7	12	10	15	
Ц	219	332	430	450	514	
Н	0	0	0	0	0	
П	689	676	668	644	630	
Щ	1287	1285	1207	1149	1149	
в	199	196	193	191	188	
В/Ц _{іст}	0,53	0,32	0,24	0,32	0,2	
R _{бнн}	9,6	14,4	24,3	31,9	40,7	

Приклад 2

При заповненні колби суміш ущільнювали шляхом постукування об стіл з висоти близько 2см 20 разів. Суміш доводили до верху і зрізали плоскою металевою лінійкою. Після цього колбу із сумішшю важили з точністю до 1г.

Готують 8 складів цементно-піщаного розчину з різними коефіцієнтами розсунення зерен піску μ від 0,75 до 4, при цьому вміст піску, цементу і води визначають за формулами:

$$\Pi = \frac{V_0}{\mu_{\text{ОПТ}} \cdot \frac{\Pi_{\text{УС}}}{\rho_{\text{НАС}}} + \frac{1}{\rho_{\text{П}}}}$$

$$\text{Ц} = \frac{V_0 - \frac{\Pi}{\rho_{\text{П}}} + \Pi W^{\text{П}}}{\frac{1}{\rho_{\text{Ц}}} + \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{ИСТ}}} = \frac{\Pi \cdot \Pi_{\text{УС}} \cdot \mu - \Pi W^{\text{П}}}{\rho_{\text{НАС}} \cdot \left(\frac{1}{\rho_{\text{Ц}}} + \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{ИСТ}}\right)}$$

$$\text{В} = \text{Ц} \cdot \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}}\right)_{\text{ИСТ}} + \Pi \cdot W^{\text{П}}$$

Розчинами кожного складу по черзі заповнюють доверху колбу з вузьким горлом, ущільнюючи суміш шляхом постукування 20 разів об стіл з висоти близько 2см, визначають експериментальні $\rho_{\text{е}}^{\text{СМ}}$ і розрахункові $\rho_{\text{р}}^{\text{СМ}}$ значення щільності розчинів для кожного складу (таблиця 1) і будують криві залежності щільності $\rho_{\text{е}}^{\text{СМ}}$ і $\rho_{\text{р}}^{\text{СМ}}$ від коефіцієнта розсунення зерен піску μ у них (Фіг.8. 9).

За екстремальною крапкою максимального наближення експериментальної кривої до розрахункової визначають величину оптимального коефіцієнта розсунення зерен піску $\mu_{\text{ОПТ}}^{\text{ЕКСП}} = 2,7$ (Фіг.8, табл.3).

За екстремальною крапкою першого максимуму ($\mu \approx 1,35$) визначають розмір мінімальної фракції цементу за формулою (15):

$$d_{\text{Ц}} = \left(\left(\frac{1,27 + 1,1}{2,1} \right)^{0,333} - 1 \right) \cdot 0,23 / 2 = 0,0049 \approx 0,05 \text{ мм}$$

Таблиця 3

Склади і щільність $\rho_{\text{е}}^{\text{СМ}}$ і $\rho_{\text{р}}^{\text{СМ}}$ цементно-піщаних

розчинів з різними коефіцієнтами розсунення зерен піску μ ($M_{\text{кр}} = 1, d^{\text{П}} = 0,23\text{мм}$)

μ	П	Ц	В	(В/Ц) _{іст}	В/Ц	$\rho_{\text{е}}^{\text{СМ}}$, г/см ³	$\rho_{\text{р}}^{\text{СМ}}$, г/см ³
0,75	0,83	0,14	0,16	0,36	1,15	2,015	2,188
1,00	0,73	0,21	0,17	0,36	0,82	2,062	2,166
1,40	0,62	0,29	0,19	0,36	0,64	2,109	2,140
1,80	0,54	0,35	0,20	0,36	0,56	2,088	2,121
2,20	0,47	0,40	0,21	0,36	0,51	2,082	2,107
2,70	0,41	0,45	0,21	0,36	0,48	2,103	2,093
3,40	0,35	0,49	0,22	0,36	0,45	2,088	2,079
3,80	0,32	0,51	0,23	0,36	0,44	2,097	2,073

Приклад 3

Подібно прикладу 2 визначають величини і будують криві залежності експериментальних $\rho_{\text{е}}^{\text{СМ}}$ і розрахункових $\rho_{\text{р}}^{\text{СМ}}$ значень щільності суміші води В з піском П і наповнювачем Н від μ (Фіг.9).

За екстремальною крапкою максимального наближення експериментальної кривої до розрахункової визначають величину $\mu_{\text{ОПТ}} = 2,2$ за величиною якого визначають діаметр найбільш представницької фракції наповнювача:

$$d_{\text{Ц}} = \left(\left(\frac{2,2 + 1,1}{2,1} \right)^{0,333} - 1 \right) \cdot 0,23 = 0,037 \text{ мм}$$

Приклад 4

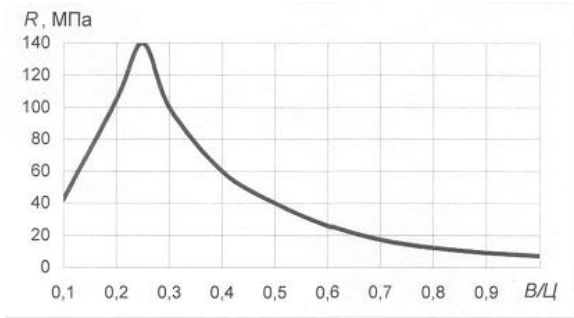
За аналогією з прикладом 2 визначають величини і будують криві залежності експериментальних $\rho_{\text{е}}^{\text{СМ}}$ і розрахункових $\rho_{\text{р}}^{\text{СМ}}$ значень щільності суміші води В з наповнювачем Н і від В/Н у границях 15-50% (Фіг.10).

При зміні В/Н від 0 до 35% (0,35) щільність суміші збільшується за рахунок входження води в

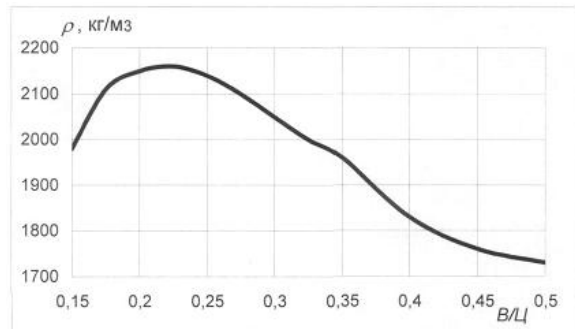
пустоти наповнювача. По величині $V/H=0,35$ в точці максимального наближення експериментальної кривої до розрахункової визначають пустотність наповнювача за виразом:

$$\Pi_{\text{УС}}^H = \frac{V}{\frac{H}{\rho^H} + V} = \frac{\frac{V}{H}}{\frac{1}{\rho^H} + \frac{V}{H}} = 0,35 \cdot \frac{1}{\frac{1}{2,65} + 0,35} = 0,48$$

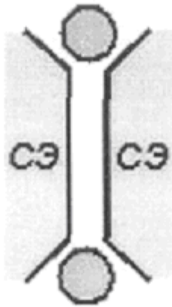
За переламом на початковій ділянці кривої (Фіг.10), відповідній переходу води від фізико-хімічно зв'язаного поверхнею наповнювача стану до вільного, визначають оптимальне відношення $W^H = 0,23$.



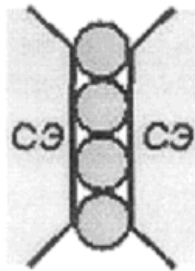
Фіг.1



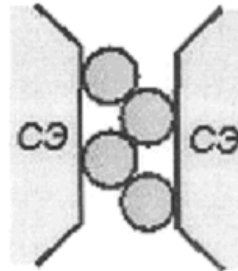
Фіг.2



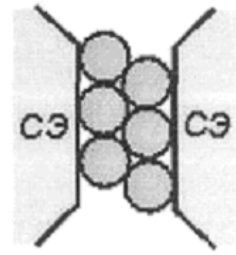
Фіг.3



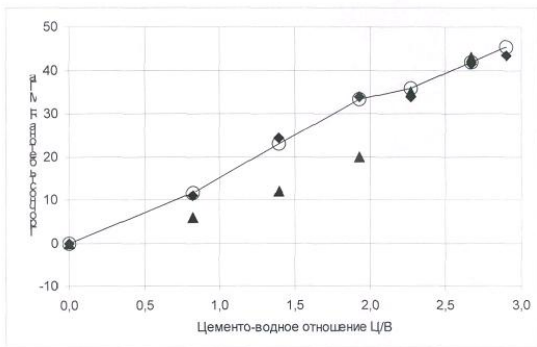
Фіг.4



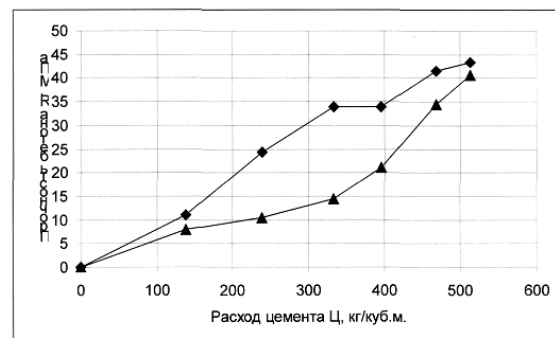
Фіг.5



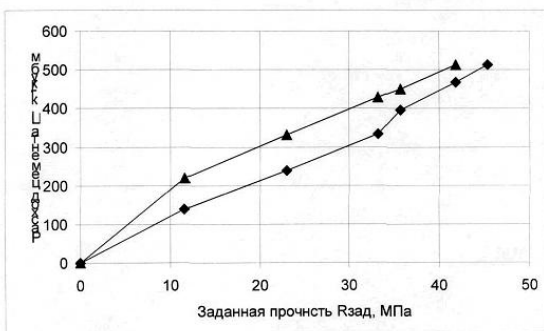
Фіг.6



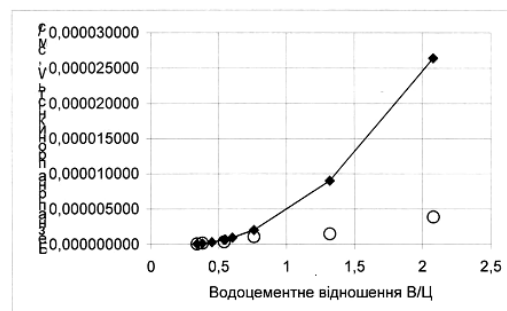
Фіг.7



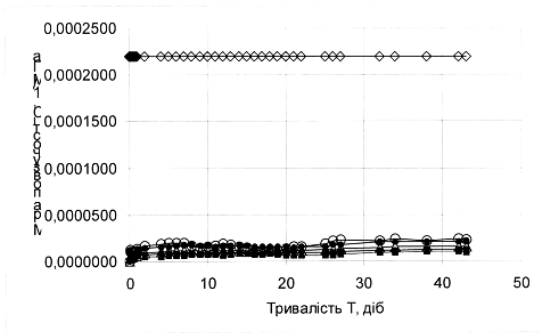
Фіг.8



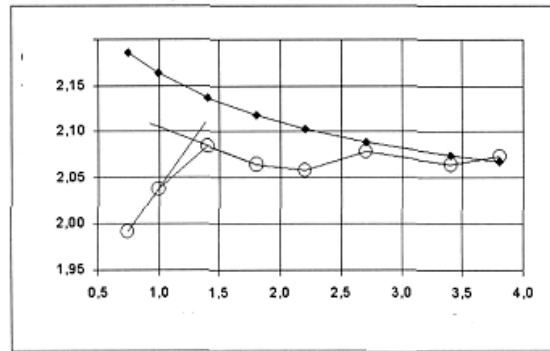
Фіг.9



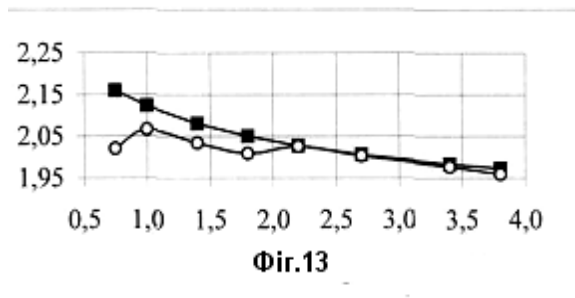
Фіг.10



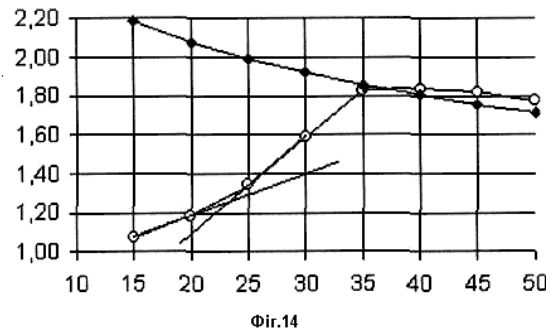
Фіг.11



Фіг.12



Фіг.13



Фіг.14