



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **99426** (13) **C2**
(51) МПК (2012.01)
G01N 33/38 (2006.01)
C04B 28/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	a 2011 14838	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:
(22) Дата подання заявки:	14.12.2011	RU 2185348 C1, 20.07.2002; US 5728208 A, 17.03.1998;
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.08.2012	Изотов В.С., Соколова Ю.А. Химические добавки для модификации бетона. Монография. ПАЛЕОТИП Москва, 2006;
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.05.2012, Бюл.№ 9	Романенко О.В. інж., Плугін А.А. д-т техн. наук, Яковлев В.О. інж. Уточнення оптимальної витрати добавки суперпластифікатора при виробництві залізобетонних шпал без тепловологісної обробки. Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2010, вип. 115;
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	10.08.2012, Бюл.№ 15	Серенко А.Ф. Беспарочная технология бетона с учетом аномальных свойств пластифицированных цементных систем. Спец. 05.23.05. - Строительные материалы и изделия: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Санкт-Петербург, 2009.
(72) Винахідник(и):	Плугін Андрій Аркадійович (UA), Плугін Аркадій Миколайович (UA), Романенко Олександр Валерійович (UA), Плугін Олексій Андрійович (UA), Калінін Олег Анатолійович (UA), Плугін Дмитро Артурович (UA), Мірошніченко Сергій Валерійович (UA)	UA 71122 C2, 15.06.2006; UA 62613 A, 15.12.2003; RU 2149850 C1, 27.05.2000; RU 2026270 C1, 09.01.1995;
(73) Власник(и):	УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ, пл. Фейербаха, 7, м. Харків-50, 61050 (UA)	

(54) ОСОБЛИВОШВИДКОТВЕРДНУЧИЙ БЕЗПРОПАРЮВАЛЬНИЙ БЕТОН

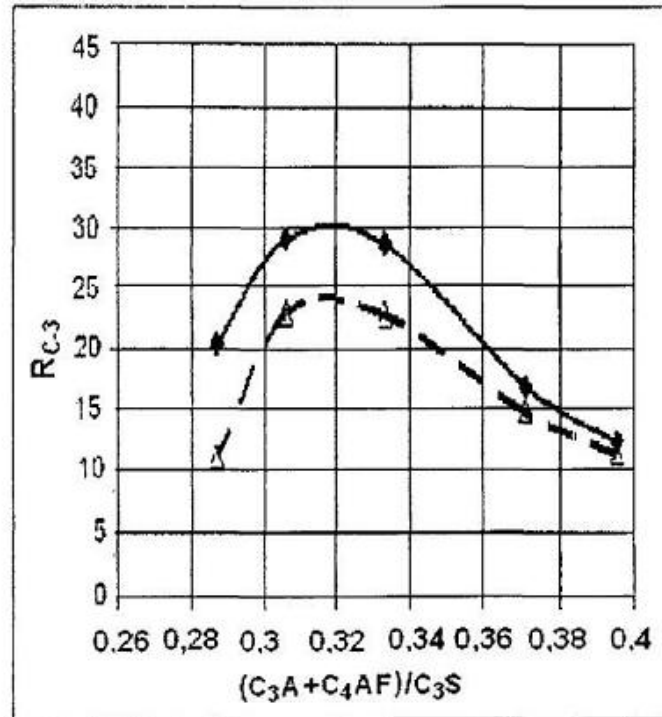
(57) Реферат:

Винахід належить до конструктивних бетонів, зокрема особливошвидкотверднучих, і може бути найефективніше використаний при виробництві залізобетонних шпал.

Особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон складається з щебеню, піску, цементу, води, добавки-суперпластифікатора С-3 (або її аналога) і добавки-електроліту, та як добавка-електроліт використовується хлористий кальцій CaCl_2 , вміст добавок С-3 (або її аналога) і CaCl_2 , щебеню, піску, цементу і води приймають оптимальними, відповідно, $\text{Щ}_{\text{опт}}$, Попт , $\text{Ц}_{\text{опт}}$ і Вопт , $(\text{C-3})_{\text{опт}}$ і $(\text{CaCl}_2)_{\text{опт}}$, при цьому оптимальна кількість добавки С-3 (або її аналога) визначається по кривій залежності умовної в'язкості віброваної цементно-водної суміші з $\text{V}/\text{Ц}=0,23$ від вмісту добавки, що змінюється в межах від 0 % до 1,0 % через 0,1 %, оптимальні витрати щебеню, піску, цементу і води визначаються по формулах. Оптимальну кількість добавки CaCl_2 визначають по максимальній міцності бетонних зразків з оптимальними витратами $\text{Щ}_{\text{опт}}$, Попт , $\text{Ц}_{\text{опт}}$ і Вопт , $(\text{C-3})_{\text{опт}}$ через 12 годин витримки при температурі 30 °С, при виготовленні бетонної суміші добавку CaCl_2 вводять останньою в кінці перемішування, контролюють легкоукладаність бетонної суміші за показниками осідання конуса $\text{OK} \leq 2$ см і вібророзтічності $\text{VP} \leq 120$ с, і після формування витримують бетон у формі в камері пропарювання без подачі пари при температурі не менше 30 °С, або влітку при такій же температурі на відкритому майданчику протягом 12-18 год.

UA 99426 C2

Задачею винаходу є створення особливошвидкотверднучого бетону з міцністю через 12 годин безпропарювального твердіння вище 32 МПа, придатного для переднапружених залізобетонних шпал, при мінімально необхідній (оптимальній) витраті добавки-суперпластифікатора С-3.



— Δ — бездобавочний цементний камінь — \blacklozenge — цементний камінь з
добавкою С-3; — \blacksquare — цементний камінь с добавкою С-3+ТФ

Фиг. 1

Винахід належить до конструктивних бетонів, зокрема особливошвидкотверднучих, і може бути найефективніше використаний при виробництві залізобетонних шпал, інших несучих залізобетонних конструкцій масового виготовлення, монолітних конструкцій експлуатованих мостів і тунелів при їх ремонті і реконструкції, дорожніх і аеродромних конструкцій, для аварійно-ремонтних робіт. Виготовлення залізобетонних шпал належить до масового виробництва з великою витратою пари, а значить газу, вартість якого останніми роками різко зросла і займає в енергетичному балансі країн велику частку. Передбачається укладання на величезному протязі високошвидкісних магістралей, в т. ч. по дорогах України, на залізобетонних шпалах або інших підрейкових основах.

Значне скорочення витрати пари і газу при виробництві залізобетонних шпал і інших виробів масового виготовлення сприятиме вирішенню проблеми енергозбереження. Важливим також в реконструкції і ремонтних роботах на транспорті є скорочення часу твердіння бетону в конструкціях, що дозволить скоротити перерви в русі транспорту.

Таким чином, задачею винаходу є розробка особливошвидкотверднучого бетону високої надійності і довговічності для несучих бетонних і залізобетонних конструкцій.

Відомий швидкотверднучий бетон, що має відносно високу міцність у ранньому віці (1-3 діб) при твердінні в нормальних умовах, в якому відносно висока міцність в ранньому віці досягається за рахунок застосування цементу марки 500, домеленого, з 3 % гіпсу, жорсткої бетонної суміші з $V/C=0,35$, добавки хлористого кальцію в кількості 2 % маси цементу і віброперемішування, при визначенні складу швидкотверднучого бетону водоцементне відношення встановлюють по заданій міцності бетону в ранньому віці з урахуванням вибраного способу прискорення твердіння, і проводять подальший розрахунок складу бетону по звичайній методиці. При цьому отримують бетон міцністю при стисненні в першу добу 20-30 МПа, а в другу - 30-40 МПа.

Недоліком такого бетону є його недостатня міцність у віці 12-16 годин для виготовлення переднапружених залізобетонних шпал - нижче необхідної передавальної міцності (32 МПа), а також значні енерго- і тимчасові витрати, пов'язані з додатковим домелом цементу з гіпсом і хлористим кальцієм в млині.

Відомий швидкотверднучий високоміцний бетон, до складу якого входить змішане механоактивоване в'яжуче на портландцементі з дисперсним наповнювачем і суперпластифікатором С-3, що містить, окрім суперпластифікатора, целюлозне мікрОВОлокно ARBOCEL і гідрофобізуючий інгредієнт - соапсток.

Недоліком такого бетону є значні енерговитрати на домел цементу з модифікуючою добавкою із збільшенням питомої поверхні із звичайної 300 м²/кг до ~550 м²/кг, а також недостатньо висока рання міцність, потрібна при передачі натягнення арматури на бетон (32 МПа через 12-18 годин). Міцність, близька до цієї (34 МПа) досягається лише у віці 3 діб).

Відомий модифікований бетон нового покоління, що має високу рання міцність при твердінні в нормальних умовах (25-40 МПа в 1 доб.) і високу рухливість ($OK=22-24$ см), в якому використовується органо-мінеральний модифікатор бетону серії МБ, мінеральна частина якого складається з мікрокремнезему або його суміші з кислотою золою-уносом, а органічна частина представлена суперпластифікатором або його сумішшю з регулятором твердіння і іншими добавками.

Недоліком такого бетону нового покоління також є недостатньо висока рання міцність (25-40 МПа в 1 добу), яка не дозволить отримати бетон з нормованою передавальною міцністю для залізобетонних шпал 32 МПа. Крім того, висока рухомість бетонної суміші такого бетону непридатна для формування шпал і витягання пустотоутворювачів при формуванні отворів під болт.

Найбільш близьким по технічній суті є безпропарувальний бетон з високою міцністю у віці 12 год., що складається з щебеню, піску, цементу, води, добавки-суперпластифікатора С-3, добавки-електроліту, в якому цемент вибирається по показнику сумісності, добавка-суперпластифікатор С-3 застосовується в кількості 0,5-1 %, як добавка-електроліт застосовують натрієву сіль тіосірчаної кислоти (ТФ), при цьому оптимальна кількість добавок визначається експериментально. Міцність такого бетону через 12 годин твердіння в нормальних умовах складає 35-40 МПа, що відповідає необхідній передавальній міцності бетону для переднапружених залізобетонних шпал [Серенко А.Ф. Беспарочная технология бетона с учетом аномальных свойств пластифицированных цементных систем Спец. 05.23.05 - Строительные материалы и изделия: Дисс... докт. техн. наук: 02.23.05. - Санкт-Петербург, 2009.-328 с.].

Недоліком такого бетону по прототипу є зайва витрата добавки-суперпластифікатора С-3 із за неврахування вмісту трикальцієвого алюмінату в цементі, що збільшує вартість бетону, а

також звуження числа цементів, що вибираються по показнику сумісності, придатних для отримання безпропарювального бетону необхідної відпускнуї міцності для переднапружених залізобетонних шпал.

У основу винаходу поставлено задачу створення особливошвидкотверднучого бетону з міцністю через 12 годин безпропарювального твердіння вище 32 МПа, придатного для переднапружених залізобетонних шпал, при мінімально необхідній (оптимальній) витраті добавки-суперпластифікатора С-3.

Поставлена задача вирішується таким чином, що в складі особливошвидкотверднучого безпропарювального бетону, який складається з щебеню, піску, цементу, води, добавки-суперпластифікатора С-3 (або її аналога) і добавки-електроліту, який відрізняється тим, що як добавка-електроліт використовується хлористий кальцій CaCl_2 , вміст добавок С-3 (або її аналога) і CaCl_2 , щебеню, піску, цементу і води приймають оптимальними, відповідно, $\text{Щ}_{\text{опт}}$, $\text{П}_{\text{опт}}$, $\text{Ц}_{\text{опт}}$ і $\text{В}_{\text{опт}}$, $(\text{С-3})_{\text{опт}}$ і $(\text{CaCl}_2)_{\text{опт}}$, при цьому оптимальна кількість добавки С-3 (або її аналога) визначається по кривій залежності умовної в'язкості віброваної цементно-водної суміші з $\text{В/Ц}=0,23$ від вмісту добавки, що змінюється в межах від 0 % до 1,0 % через 0,1 %, оптимальні витрати щебеню, піску, цементу і води визначаються по формулах:

$$\text{Щ}_{\text{опт}} = \frac{1000}{\frac{\alpha_{\text{опт}} \cdot \text{П}_{\text{опт}} \cdot \rho_{\text{НАС}}^{\text{Щ}}}{\rho_{\text{НАС}}^{\text{Щ}}} + \frac{1}{\rho^{\text{Щ}}}}, \quad (1)$$

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

$$\text{Ц}_{\text{опт}} = \frac{1000 - \text{Щ} \left(\frac{1}{\rho^{\text{Щ}}} + W^{\text{Щ}} \right) - \text{П} \left(\frac{1}{\rho^{\text{П}}} + W^{\text{П}} \right)}{\frac{1}{\rho^{\text{Ц}}} + \left(\frac{\text{В}}{\text{Ц}} \right)_{\text{опт}}}, \quad (3)$$

де: $\alpha_{\text{опт}}$ - 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 коефіцієнта розсунення зерен піску:

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

$$\text{В}_{\text{опт}} = (\text{В/Ц})_{\text{опт}} \cdot \text{Ц} + \text{Щ} \cdot W^{\text{Щ}} + \text{П} \cdot W^{\text{П}}, \quad (6)$$

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

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

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

$d^{\text{Щ}}$, $d^{\text{П}}$ - середні розміри фракцій щебеню і піску, що визначають по максимальній щільності розподілу розмірів зерен;

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

Оптимальну кількість добавки CaCl_2 визначають по максимальній міцності бетонних зразків з оптимальними витратами $\text{Щ}_{\text{опт}}$, $\text{П}_{\text{опт}}$, $\text{Ц}_{\text{опт}}$ і $\text{В}_{\text{опт}}$, $(\text{С-3})_{\text{опт}}$ через 12 годин витримки при температурі 30 °С, при виготовленні бетонної суміші добавку CaCl_2 , вводять останньою в кінці перемішування, контролюють легкоукладаність бетонної суміші за показниками осідання конуса $\text{OK} \leq 2$ см і вібророзтічності $\text{ВР} \leq 120$ с, і після формування витримують бетон у формі в камері пропарювання без подачі пари при температурі не менше 30 °С, або влітку при такій же температурі на відкритому майданчику протягом 12-18 год.

Вказані вище ознаки винаходу, який заявляється, забезпечують досягнення технічного результату, який полягає в забезпеченні передавальної міцності бетону не менше 32 МПа через 12-16 годин його безпропарювального твердіння для переднапружених залізобетонних шпал і зниження вартості бетону за рахунок зменшення витрати добавки С-3 і виключення витрати пари, а також розширення цементів різних заводів, придатних для особливошвидкотверднучого бетону.

Оптимальна кількість добавки-суперпластифікатора С-3 (або її аналога) забезпечує виключення вільної води в цементному тісті і отримання хорошої легкоукладаності бетонної суміші при скороченні часу її ущільнення на вібростолі в 2-3 рази.

5 Оптимальні кількості щебеню, піску, цементу і води забезпечують максимальну щільність і міцність бетону і тріщиностійкість шпал.

Оптимальну кількість (С-3)_{опт} добавки-суперпластифікатора С-3 визначають по тій кількості, яка відповідає перелому кривої залежності вібророзтічності ВР бетонної суміші з добавкою СаСl₂ від вмісту добавки С-3 (або її аналога), що змінюється в межах від 0 % до 1,0 % через 0,1 % від витрати цементу, забезпечує точність визначення добавки і досягнення максимальної міцності бетону.

10 Оптимальна кількість добавки СаСl₂ забезпечує компенсацію кристалогідратів етрингіту, які не утворилися із-за адсорбції С-3 (або її аналога) на поверхні С₃А+С₄АФ, відновлення оптимального співвідношення між кристалогідратами і гелем гідросилікату і збільшення міцності бетону за рахунок цього.

15 Граничні параметри вмісту добавок і компонентів бетону в особливошвидкотверднучому бетоні, що заявляється, не встановлюються, оскільки будь-яке відхилення їх вмісту від оптимального приведе до зменшення міцності бетону.

20 Мінімальне значення температури (30 °С), а також тривалість (12 годин) витримки шпал в камері пропарювання без подачі пари або на відкритому майданчику обумовлено достатністю цих параметрів для досягнення бетоном передавальної міцності. Максимальне значення тривалості витримки шпал при цій температурі (18 годин) обумовлене технологічним режимом.

25 Введення добавки СаСl₂ в бетонну суміш в кінці її перемішування в бетонозмішувачі виключає її негативний вплив на активність добавки С-3 (адсорбція катіонів Са²⁺, що нейтралізує активні групи SO³⁻). Крім того, добавка солі СаСl₂ на початку перемішування збільшує жорсткість бетонної суміші, що утруднює її перемішування (за рахунок адсорбції катіонів Са²⁺, побудови ними кристалічної решітки С₃А і С₃S і збільшення їх позитивного поверхневого заряду). В кінці перемішування цей ефект набагато ослаблюється у вже перемішаній суміші і за рахунок браку часу для повної адсорбції катіонів Са²⁺.

30 Суть винаходу пояснюється схемами і графіками, на яких зображено:

Фіг. 1. Залежність міцності цементного каменю через 12 годин твердіння без добавок, з добавкою С-3 і комплексною добавкою С-3+ТФ від відношення (С₃А+С₄АФ)/С₃S.

Фіг. 2. Залежність міцності при стисненні R від масового відношення кг/г для: 1 - романцементу; 2-С₂S; 3-0,25С₃S+0,75С₂S; 4-0,5С₃S+0,5С₂S; 5-0,75С₃S+0,25С₂S; 6-С₃S; 7 - гідралічного вапна.

35 Фіг. 3. Ізотерма адсорбції ССБ мінералів цементного клінкеру: С₃А - 1; С₄АФ-2; С₃S-3; С₂S-4 [Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дис. докт. хим. наук: 02.00.11. - Харьков: ХИ-ИТ, 1989.-282 с.].

40 Фіг. 4. Коефіцієнт розсунення зерен піску μ (для підрейкових перерізів): Вишнівський ЗЗБШ [Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дис. докт. хим. наук: 02.00.11. - Харьков: ХИИТ, 1989.-282 с.]; ЗЗБШ України: Коростенський (Кор.), Київський (Київ), Кременчуцький (Крем.), Гніванський (Гнів.) [Рекомендації з удосконалення технології виробництва залізобетонних шпал у відповідності з ТУ У 01116472.021 (для Коростенського заводу залізобетонних шпал) / ХарДАЗТ / А.М. Плугін, О.А. Калінін, А.А. Плугін та ін. - Харків, 2001.-123 с.].

45 Фіг. 5. Коефіцієнт розсунення зерен щебеню α (для підрейкових перерізів): Актюбінський ЗЗШ (Акт.) [Плугин А.Н. Электрогетерогенные взаимодействия при твердении цементных вяжущих: Дис. докт. хим. наук: 02.00.11. - Харьков: ХИИТ, 1989.-282 с.]; ЗЗБШ України; Київський (Київ), Коростенський (Кор.), Кременчуцький (Крем.), Гніванський (Гнів.) [Рекомендації з удосконалення технології виробництва залізобетонних шпал у відповідності з ТУ У 01116472.021 (для Коростенського заводу залізобетонних шпал) / ХарДАЗТ / А.М. Плугін, О.А. Калінін, А.А. Плугін та ін. - Харків, 2001.-123 с.].

50 Фіг. 6. Залежність міцності цементного каменю на стиснення від В/Ц; розрахункових значень R=f(В/Ц) по (4.38), (4.39) і експериментальних значень по [Киреенко И.А. Расчет состава высокопрочных и обычных бетонов и растворов на стандартных и мелких песках. - К.: Госстройиздат УССР" 1961.-80 с.; Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво / В.Д. Братчун, В.І. Гоц, І.І. Назаренко, А.М. Плугін, Р.Ф. Рунова, М.А. Саницький, В.Й. Сівко, В.Н. Старчук, С.І. Федоркін, П.С. Шилук. - К.: У ВПК "ЕксОб", 2008.-354 с.].

60 Фіг. 7. Залежність часу витікання суміші з віскозиметра ВЗ-1 з вібрацією від кількості добавки-суперпластифікатора.

Фіг. 8. Змінення міцності при вигині балочок від вмісту добавки CaCl_2 .

Фіг. 9. Змінення вібророзтічності і часу ущільнення бетонної суміші (вирівнювання поверхні бетонної суміші при вібрації) залежно від вмісту добавки С-3.

Фіг. 10. Відформована переднапружена залізобетонна шпала.

5 Фіг. 11. Форма зі свіжовідформованою шпалою і зразки-куби з бетонною сумішшю перед формою в камері з температурою $T=20-30\text{ }^\circ\text{C}$.

Фіг. 12. Шпала після твердіння, що витягнута з форми.

Фіг. 13. Випробування на тріщиностійкість лівого підрейкового перерізу.

Фіг. 14. Контроль розмірів тріщин за допомогою відлікового мікроскопа МПБ-2.

10 Фіг. 15. Змінення міцності особливошвидкотверднучого бетону від тривалості безпропарювального твердіння.

У табл. 1 представлені дані про ранню міцність бетонів (на 12 годину твердіння) без добавок і з добавкою-суперпластифікатором С-3, виготовлених з цементів різних заводів-виробників, узятих з роботи [Серенко А.Ф. Беспропарочная технология бетона с учетом аномальных свойств пластифицированных цементных систем Спец. 05.23.05 - Строительные материалы и изделия: Дис. докт. техн. наук: 02.23.05. - Санкт-Петербург, 2009.-328 с.] і про середній мінеральний склад клінкерів по сертифікатах на цементі цих заводів.

Таблица 1

Дані про міцність бетонів на 12 годі твердіння без добавки і з добавкою-суперпластифікатором С-3, виготовлених з цементів різних заводів-виробників

Цемент	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	C ₃ A	Міцність	
						Без доб.	С-3
Оскольський	63,35	13,81	9,54	11,3	9,54	11,5	12,5
Белгородський	62,6	14,9	6,9	13	6,9	11,8	10
Катавський	53,1	20,1	6,7	13,2	6,7	15	17
Липецький	66	11,8	7	12	7	22,9	29
Нев'янський	57	17	7	14,5	7	23	28,6
Ачинський	61	17	4,5	14	4,5	11,2	20,6

20 Аналіз показав, що рання міцність бетону залежить від вмісту трикальцієвого алюмінату C_3A в клінкері, причому найбільш тісна залежність спостерігається для відношення сумарного вмісту C_3A і чотирікальцієвого алюмофериту C_4AF до трикальцієвого силікату, фіг. 1. Це обумовлено тим, що С-3 адсорбується на ділянці поверхні, зайнятій целітом (C_3A і C_4AF), в якому адсорбційна активність трикальцієвого алюмінату, єдиного в клінкері мінералу з позитивним

25 поверхневим зарядом, набагато більша по відношенню до негативно заряджених частинок С-3. Проте ці мінерали зливаються в одну практично однорідну для органічних аніонів С-3 поверхню, фіг. 2 [Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво / В.І. Братчун, В.І. Гоц, І.І. Назаренко, А.М. Плугін, Р.Ф. Рунова, М.А. Саницький, В.Й. Сівко, В.Н. Старчук, С.І. Федоркін, П.С. Шилук. - К.: УВПК "ЕксОб", 2008.-354 с.]

30 Згідно з графіками, міцність бездобавочного цементного каменю і цементного каменю з добавкою С-3 максимальна при відношенні $(\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF})/\text{C}_3\text{S}=0,32$. Максимум міцності при $(\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF})/\text{C}_3\text{S}=0,32$ для бездобавочного цементного каменю обумовлений досягненням оптимального співвідношення між кількістю позитивно заряджених кристалогідратів і негативно заряджених гелів гідросилікату. Кристалогідрати в цементному камені на ранній стадії твердіння

35 представлені головним чином еtringітом і портландитом. Еtringіт, як відомо, утворюється за рахунок розчинення C_3A на ділянці C_3A і C_4AF , де вони, як відмічено, зливаються в суцільну поверхню, утворення з продуктів розчинення гідроалюмінату кальцію і його з'єднання з гіпсом. Чим більше поверхня C_3A і C_4AF , тобто чим більше вміст цих мінералів в цементі, тим більше утворюється кристалогідратів еtringіту (при достатній кількості гіпсу). На ділянках C_3S протікає розчинення і утворення кристалогідратів портландиту і гелю гідросилікату. Оскільки

40 переважаючим за об'ємом серед продуктів гідратації є гель гідросилікату, при $(\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF})/\text{C}_3\text{S}=0,32$ встановлюється оптимальне співвідношення між кристалогідратами і гелем КГ/Г, при $(\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF})/\text{C}_3\text{S}<0,32$ - виникає недолік кристалогідратів (через недостатню кількість еtringіту), при $(\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF})/\text{C}_3\text{S}>0,32$ - надлишок кристалогідратів (через надмірну

45 кількість еtringіту). Така екстремальна залежність між міцністю різних в'язучих і масовим співвідношенням між кристалогідратами і гелем гідросилікату КГ/Г підтверджується графіком, фіг. 2, з [Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво /

В.І. Братчун, В.І. Гоц, І.І. Назаренко, А.М. Плугін, Р.Ф. Рунова, М.А. Саницький, В.Й. Сівко, В.Н. Старчук, С.І. Федоркін, П.С. Шилюк. - К.: УВПК "Ексоб", 2008.-354 с.].

Екстремальний характер впливу С-3 обумовлений механізмом дії добавок-суперпластифікаторів, зокрема С-3. Розчинені у воді добавки-суперпластифікатори є негативно зарядженими органічними аніонами, вони адсорбуються на позитивно зарядженій поверхні С₃А і С₄АФ. Певна величина поверхневого заряду цієї поверхні адсорбує на собі певну кількість добавки С-3. Це затримує гідроліз С₃А і виникнення гідроалюмінату кальцію і, відповідно, еtringіту, що пояснює механізм "блокуючої дії" з термінології у [Серенко А.Ф. Беспарочная технология бетона с учетом аномальных свойств пластифицированных цементных систем Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия: Дисс... докт. техн. наук: 02,23.05. - Санкт-Петербург, 2009.-328 с.], добавок-суперпластифікаторов, т. е. механізм удлиннения индукционного периода гидратации цемента.

Решта кількість добавки, понад 0,25 %, адсорбується на поверхні виникаючих після закінчення індукційного періоду зародках еtringіту і перешкоджає їх зростанню. В результаті в цементному камені зменшується кількість кристалогідратів, що мають позитивний поверхневий заряд, і збільшується кількість гідросилікатів кальцію з негативним поверхневим зарядом, у зв'язку з чим порушується оптимальне співвідношення між ними, і міцність цементного каменю зменшується. При цьому, чим більше вміст фази алюмінату в цементі, тим менше залишається кристалогідратів в цементному камені, тим нижче міцність каменю і тим менший ефект від зниження витрати води, фіг. 1.

Разом з алюмінатною і алюмоферитною поверхнею, адсорбція суперпластифікуючої добавки, як і інших пластифікаторів, відбувається і на поверхні С₃С. Проте, найбільш інтенсивну адсорбційну здатність має С₃А, потім С₄АФ, нижчу С₃С, а С₂С практично не адсорбує добавки, фіг. 3. Це обумовлено негативним поверхневим зарядом олігомерних частинок добавок і величиною та знаком поверхневого заряду мінералів в цементному тісті: максимально позитивний у С₃А, а у С₂С він негативний.

Виходячи з цього, при незначній кількості С₃А і С₄АФ, що відповідає (С₃А+С₄АФ)/С₃С<0,32, добавка виявляється надмірною, і після адсорбції її на активніших ділянках С₃А і С₄АФ адсорбується на поверхні С₃С, а при (С₃А+С₄АФ)/С₃С>0,32, вона на поверхні С₃С не адсорбується. Надмірна кількість добавки різко зменшує кількість кристалогідратів і подовжує індукційний період, а її недолік - погіршує редукуючий ефект (зменшення витрати води). Це підтверджується і видом кривих на фіг. 1 і фіг. 2 - крутіша зліва і пологіша праворуч від максимуму міцності.

Викладене обумовлює необхідність оптимізації вмісту добавки-суперпластифікатора в цементному камені, який, як показали наші численні експерименти, як правило, значно менший, ніж той, що рекомендується в документах на суперпластифікатори і використаний в прототипі інтервал (0,5-1 %).

На відміну від добавки-електроліту в прототипі, що прискорює утворення еtringіту, застосована у винаході добавка хлористого кальцію призначена для утворення замість еtringіту гідрохлоралюмінату кальцію (ГХАК) 3CaO·Al₂O₃·CaCl₂·10H₂O з позитивним поверхневим зарядом, як і еtringіт, який утворюється при введенні в бетон CaCl₂ в кількості до 2 % [Ларионова З.М. Фазовый состав, микроструктура и прочность цементного состава и бетона / З.М. Ларионова, Л.В. Никитина, В.Р. Гарашин. - М.: Стройиздат, 1977.-264 с.] і др. При більшій кількості CaCl₂, чим 2 %, утворюється гідрооксихлорид кальцію 3Ca(OH)₂·CaCl₂·12H₂O з негативним поверхневим зарядом.

Кількість еtringіту 3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·31H₂O, що утворюється в цементному камені без добавки С-3, можна визначити з виразу;

$$E = \frac{C_3A \cdot M_E \cdot \alpha}{M_{C_3A}} \quad (7)$$

де M_E і M_{C₃A} - молекулярні ваги (маси) еtringіту і трикальцієвого алюмінату; α - ступінь гідратації цементу, зазвичай рівний приблизно 0,5.

Добавка CaCl₂ в кількості понад 2 % може привести до зменшення міцності бетону.

Молекулярна вага (маса) трикальцієвого алюмінату 3CaO·Al₂O₃:

$$M_{C_3A} = 3 \cdot 40 + 3 \cdot 16 + 27 \cdot 2 + 3 \cdot 16 = 270 \text{ г/моль}$$

Молекулярна вага еtringіту 3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·31H₂O:

$$M_{C_3A} = 3 \cdot 40 + 3 \cdot 16 + 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 + 3 \cdot 40 + 3 \cdot 32 + 12 \cdot 16 + 31 \cdot 18 = 1236 \text{ г/моль}$$

Кількість еtringіту залежно від С₃А:

$$E = \frac{C_3A \cdot 1236 \cdot 0,5}{270} = 2,29 \cdot C_3A \quad (8)$$

Кількість гідрохлоралюмінату кальцію в цементному камені з добавкою CaCl_2 визначиться виразом:

$$G_{\text{ХАК}} = \frac{\text{CaCl}_2 \cdot M_{\text{ГХАК}}}{M_{\text{CaCl}_2}} \quad (9)$$

Молекулярна вага хлориду кальцію CaCl_2 :

$$M_{\text{CaCl}_2} = 40 + 2 \cdot 35 = 110 \text{ г/моль.}$$

5 Молекулярна вага ГХАК $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$:

$$M_{\text{ГХАК}} = 3 \cdot 40 + 3 \cdot 16 + 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 + 40 + 2 \cdot 35 + 10 \cdot 18 = 630 \text{ г/моль}$$

$$G_{\text{ХАК}} = \frac{\text{CaCl}_2 \cdot 630}{110} = 5,73\text{CaCl}_2$$

Максимальна кількість добавки CaCl_2 для компенсації еtringіту визначиться з рівності $E = G_{\text{ХАК}}$:

$$10 \quad 2,29 \cdot C_3A = 5,73\text{CaCl}_2;$$

$$\text{CaCl}_2 = 2,29/5,73 C_3A = 0,4 C_3A.$$

Отже, для отримання максимальної міцності, особливошвидкотверднучого бетону з добавками С-3 і CaCl_2 останню необхідно ввести в кількості 0,4 % від кількості трикальцієвого алюмінату в клінкері. Відповідно, при вмісті в клінкері C_2A 5 %, кількість добавки CaCl_2 складе 15 близько 2 %, що відповідає граничному вмісту CaCl_2 , при якому утворюється ГХАК. При більшій кількості CaCl_2 утворюється ГОХК з негативним поверхневим зарядом, що, як наголошувалося, може привести до зниження міцності цементного каменя і бетону.

Отже, кількість добавки CaCl_2 також повинна бути оптимальною, залежно від кількості С-3. Дотримання оптимальних величин коефіцієнтів розсунення зерен щебеню $\alpha_{\text{опт}}$ і піску $\mu_{\text{опт}}$ в бетоні обумовлює максимальну міцність і тріщиностійкість бетону, що наочно підтверджується реальними експериментальними графіками на фіг. 4 і 5 [Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: коллоидно-химические основы: дисс... докт. техн. наук; 05-23.05 / Плугин Андрей Аркадьевич - Харьков; УкрГАЗТ, 2005.-420 с.].

Досягнення максимальної міцності бетону при визначенні оптимальних величин цементу, 25 $\rho_{\text{опт}}$ і води $W_{\text{опт}}$, виходячи з $(V/C)_{\text{опт}}$, підтверджується відомими і власними експериментальними даними міцності цементного каменя залежно від V/C на графіках, фіг. 6 [Плугин А.А. Долговечность бетона и железобетона в обводненных сооружениях: коллоидно-химические основы: дисс... докт. техн. наук; 05.23.05 / Плугин Андрей Аркадьевич - Харьков: УкрГАЗТ, 2005.-420 с.].

30 Виготовляють особливошвидкотверднучий бетон і переднапружену залізобетонну шпалу з нього таким чином. Зважують компоненти бетонної суміші, зокрема окремі водні розчини (наприклад, у 10 л води) добавок С-3 і CaCl_2 у відповідних кількостях. Вводять їх, окрім CaCl_2 , в бетонозмішувач у звичайному порядку і перемішують. Розчин добавки CaCl_2 вводять в кінці перемішування (наприклад, за 30-40 хв. до закінчення перемішування, що достатньо для її 35 однорідного розподілу в суміші).

Після приготування бетонної суміші формують шпалу, встановлюють в камеру пропарювання форму з бетоном або витримують її на окремому майданчику влітку. Через 12 або 18 годин обрізають арматуру і передають натягнення на бетон.

40 Приклад. Для визначення оптимальної кількості добавки С-3 виготовляють послідовно 8 складів цементно-водної суміші з цементу марки ПЦ І-500-ДО Балаклейського цементного заводу з $V/C=0,23$ і різною кількістю добавки, відповідно, 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 і 0,8 %. Кожен склад вводили в ємкість віскозиметра ВЗ-1 із закритим за допомогою стрижня капіляром. Суміш ущільнювали постукуванням і закріплювали віскозиметр з сумішшю на стандартному лабораторному вібростолі. Одночасно включали вібрацію, відкривали капіляр і засікали час витікання суміші з ємкості до штирка. Потім будували криву зміни умовної в'язкості (за часом витікання суміші t , с) від вмісту добавки С-3. Згідно з отриманою кривою, оптимальний вміст 45 добавки склав 0,35 % від кількості цементу.

Для визначення оптимальної кількості добавки CaCl_2 виготовляють 4 серії балочок $1 \times 1 \times 3$ см (по 9 шт) з цементної суміші з $V/C=0,23$, з добавкою С-3 в кількості 0,35 % від вмісту цементу. 50 Серія № 1, що є контрольною, не містить добавки CaCl_2 , серії № 2, № 3 і № 4 містять цю добавку в кількості, відповідно, 2, 3 і 4 % від вмісту цементу. Після твердіння зразків протягом 1 доби без пропарювання балочки випробували на міцність при вигині під пресом за допомогою спеціального пристосування.

55 На фіг. 8 наведена крива змінення міцності від вмісту добавки CaCl_2 . Згідно з цією кривою, міцність цементного каменя з добавкою С-3 значно (на 20 %) збільшується при введенні в суміш добавки CaCl_2 в кількості 1 % від витрати цементу. Проте, при подальшому збільшенні

CaCl₂ міцність збільшується незначно. Це обумовлено тим, що зі всієї кількості CaCl₂, що вводиться, лише 1 % витрачається на утворення кристалогідратів гідрохлоралюмінату кальцію, що мають позитивний поверхневий заряд, що збільшує міцність цементного каменю за рахунок електрогетерогенного тяжіння між кристалогідратами і частинками гелю гідросилікату, що мають негативний поверхневий заряд.

Решта добавки CaCl₂ витрачається на утворення гідрооксихлориду кальцію, частинки якого мають негативний поверхневий заряд, і у зв'язку з цим практично не дають внеску в збільшення міцності каменю.

У зв'язку з цим, а також тим, що введення електролітів може істотно зменшити опір бетону, прийнятий оптимальний вміст добавки CaCl₂ в кількості 1 % від витрати цементу Виконаний розрахунок оптимального складу бетону по формулах (1)-(6) для 5-ти серій бетону із вмістом добавки С-3, що змінюється: 0,3; 0,35, 0,4 і 0,6 % від витрати цементу. Витрати компонентів на 1 лабораторний заміс наведені в табл. 2. Відповідно до розрахованого складу виготовлені 5 серій бетонної суміші і виконано контроль її вібророзтічності і часу ущільнення (до вирівнювання поверхні бетонного зразка при вібрації), фіг. 9.

Для випробування розробленого особливошвидкотверднучого бетону на міцність готували бетонну суміш, визначали її осідання конуса ОК і вібророзтічність ВР (по жорсткості Ж спрощеним способом Скрамтаєва), потім виготовляли зразки - куби 10×10×10 см і випробовували їх на міцність при стисненні. Склад бетону наведений в табл. 2, дані про реологічні властивості бетонної суміші - в табл. 3, а міцності бетону при стисненні - в табл. 4.

Таблиця 2

Дані про склад розробленого бетону

Компоненти	Витрати на 1 заміс, кг/заміс	Структурні характеристики
Цемент Ц	2,27	α=1,1; μ=2,7
Пісок П	1,56	
Щебінь Щ	5,55	
Вода В	0,52	
Добавка-суперпластифікатор С-3	7,9 Г (0,35 %)	
Добавка CaCl ₂	56,8 Г (2,5 %)	
В/Ц	0,23	
В/Ц _{доп}	0,05	

Таблиця 3

Змінення вібророзтічності і часу вирівнювання поверхні бетонної суміші від вмісту добавки С-3

Вміст С-3, %	Вібророзтічність ВР, с	Час вібрування бетонної суміші в формах-кубах t с
0,35	250	347
0,4	185	265
0,5	90	155
0,6	66	103

По графіках, при вмісті добавки С-3 в кількості 0,35 % час вібрації (вирівнювання поверхні бетону у формі) складає 350 с, або приблизно 6 хв., при цьому оптимальна рухливість бетонної суміші не досягнута. Це обумовлено зменшенням концентрації добавки в суміші за рахунок кількості води на змочування заповнювачів.

У зв'язку з цим в остаточному складі бетону прийнято оптимальний вміст добавок С-3=0,45 % і CaCl₂=1 %.

Таблиця 4

Результати випробування зразків на міцність при різному часі твердіння

Тривалість твердіння, год.	Показання преса, кг	Міцність цементного каменю, МПа
8	12400	12,80
	13200	
10	18900	19,35
	19800	
12	31500	31,45
	31400	
18	40400	40,60
	40800	
24	40700	45,35
	46200	
	44500	

5 З бетонної суміші вказаного складу виготовлена переднапружена залізобетонна шпала і контрольні зразки-куби 10×10×10 см на дослідній ділянці галузевої лабораторії підрейкових основ УкрДАЗТ в точній відповідності із заводською технологією, фіг. 10, фіг. 11, фіг. 12. Дані про зміну міцності бетону, від тривалості безпропарювального твердіння бетону представлені в табл. 5 і на графіці, фіг. 15, дані про випробування шпала на тріщиностійкість, фіг. 14, фіг. 15, - в табл. 6.

Таблиця 5

Дані змінення міцності при стисненні контрольних зразків особливошвидкотверднучого бетону для переднапруженої залізобетонної шпала

Тривалість тверднення, год.	Показання преса, кг	Міцність цементного каменю, МПа
8	12400	12,8
	11900	
10	13200	19,35
	17100	
	18900	
	19800	
12	30300	31,5
	31500	
18	31400	40,6
	40400	
	39600	
24	40800	45
	40700	
	46200	
	44500	

10

Таблиця 6

Дані випробувань на тріщиностійкість переднапруженої залізобетонної шпали з особливошвидкотверднучого бетону на наступну добу після виготовлення

Прикладене навантаження в т. і випробовуваний переріз	Вимога ГОСТ на шпалу типу Ш-1-1	Висновок про тріщиностійкість перерізів шпали
	Опис зони контролю	
1	2	3
Підрейковий лівий 13,2 16,0	2 волосяних тріщини: розкриття $\delta=0,04$ мм, довжина $l=3$ см тріщина: розкриття $\delta=0,1$ мм, довжина $l=5$ см	Допустима Витримала на перший сорт
Підрейковий правий 13,2 16,0	Тріщин немає Тріщин немає	Витримала на перший сорт
Середній 13,2 16,0	Тріщин немає Тріщин немає	Витримала на перший сорт

Примітка: Навантаження, які повинні витримати шпала першого сорту: - підрейковий переріз - 13,2 т; середній переріз - 10,5 т; - неприпустима тріщина - $\delta > 0,05$ мм, $l > 30$ мм (товщина захисного шару).

Таким чином, особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон по винаходу має необхідну передавальну міцність (32 МПа і більш), а переднапружена залізобетонна шпала з такого бетону витримала випробування на тріщиностійкість. Відповідно до розробленого особливошвидкотверднучого бетону на Кременчуцькому заводі ЗЗБШ виготовлена дослідна партія переднапружених залізобетонних шпал в кількості 10 шт. Шпали витримали випробування на тріщиностійкість

В порівнянні з прототипом, особливошвидкотверднучий бетон по винаходу має значно менший вміст добавки С-3 (0,45 % проти 0,5-1,0 (в середньому 0,75) від витрати цементу, і має значно меншу вартість за рахунок цього. У табл. 7 представлений відповідний розрахунок економічного ефекту по винаходу. Вартість добавки С-3 рівна 52 руб/кг [суперпластифікатор С3 - Строй-Бетон. ... www.ibeton.ru/plast.php].

Вартість добавки $CaCl_2$ складає 17 руб/кг.

Таблиця 7

Розрахунок економічного ефекту при виготовленні залізобетонних шпал з особливошвидкотверднучого бетону по винаходу, в порівнянні з бетоном-прототипом (на 1 млн. шпал при витраті цементу 470 кг/м³)

Витрата цементу, кг, на 1 млн. шт. шпал (100000 м ³ бетону) при витраті 470 кг/м ³	Витрата добавки С-3, кг (0,45 % від цементу)	Вартість добавки С-3, млн. руб	Витрата добавки $CaCl_2$, кг, 1 % від цементу)	Вартість добавки $CaCl_2$, млн. руб.
47000000	211500	11	470000	8,0
Всього по винаходу:				
млн. руб.				19,0
млн. грн.				5,3
1	211500	9,1	470000	8
По прототипу:				
У цінах 2008 р.				23,25
У цінах 2011 р.				28,0
млн. грн				7,8

Перерахунок вартості добавки в ціні 2011 р. виконаний по офіційному курсу рубля в 2008 р. і 2011 р., який впав на 20 %.

Таким чином, економічний ефект при використанні для виготовлення залізобетонних шпал особливошвидкотверднучого безпропарювального бетону по винаходу складає 2,2 млн. грн. на 1 млн. шпал за рахунок зменшення вартості добавки (5,3 млн. грн. проти 7,8 млн. грн., відповідно).

Особливошвидкотверднучий бетон по винаходу розширює також кількість заводів, цемент яких придатний для його виготовлення. По суті, всі цементы марки ПЦ І-500 Д0 будь-якого цементного заводу придатні для його виготовлення, на відміну від бетону по прототипу, для якого придатні цементы лише деяких заводів Росії.

Таблиця 8

Дані про економічний ефект безпропарочного бетону по способу-прототипу [Серенко А.Ф. Безпропарочная технология бетона с учетом аномальных свойств пластифицированных цементных систем Специальность 05.23.05 - Строительные материалы и изделия: Дисс... докт. техн. наук: 02.23.05. - Санкт-Петербург, 2009.-328 с.]

Місце впровадження (завод ЗЗБШ)	Вид технології	Об'єм шпал, млн. шт.	Витрати на добавку, млн. руб.	Економія енергії, млн. руб.
Чудово, розрахунковий 1 рік	Безпропарювальна	1,0	22,5	27,1
Хабаровськ, розрахунковий 1 рік	безпропарювальна	1,0	24,0	54,4

Актуальність винаходу і його економічний ефект значно вище у зв'язку з різким подорожчанням газу за три останні роки.

15

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Особливошвидкотверднучий безпропарювальний бетон, який складається з щебеню, піску, цементу, води, добавки-суперпластифікатора С-3 (або її аналога) і добавки-електроліту, який **відрізняється** тим, що як добавка-електроліт використовується хлористий кальцій CaCl₂, вміст добавок С-3 (або її аналога) і CaCl₂, щебеню, піску, цементу і води приймають оптимальними, відповідно, $\alpha_{\text{Опт}}$, $\mu_{\text{Опт}}$, $\rho_{\text{Опт}}$ і $V_{\text{Опт}}$, (С-3)_{опт} і (CaCl₂)_{опт}, при цьому оптимальна кількість добавки С-3 (або її аналога) визначається по кривій залежності умовної в'язкості віброваної цементно-водної суміші з $V/C = 0,23$ від вмісту добавки, що змінюється в межах від 0 % до 1,0 % через 0,1 %. Оптимальні витрати щебеню, піску, цементу і води визначаються по формулах:

25

$$\rho_{\text{НАС}} = \frac{1000 - \frac{\rho_{\text{Щ}}}{\rho_{\text{Щ}}}}{\rho_{\text{Щ}}}, \quad (1)$$

$$\mu_{\text{Опт}} = \frac{\mu_{\text{Опт}} \rho_{\text{УС}} + \frac{1}{\rho^{\text{П}}}}{\rho_{\text{НАС}}}, \quad (2)$$

$$\rho_{\text{Опт}} = \frac{1000 - \rho_{\text{Щ}} \left(\frac{1}{\rho_{\text{Щ}}} + W^{\text{Щ}} \right) - \rho^{\text{П}} \left(\frac{1}{\rho^{\text{П}}} + W^{\text{П}} \right)}{\frac{1}{\rho^{\text{Ц}}} + \left(\frac{V}{C} \right)_{\text{Опт}}}, \quad (3)$$

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

$$\alpha_{\text{Опт}} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d}{d_{\text{Щ}}} \right) - 1,1, \quad (4)$$

$\mu_{\text{Опт}}$ - величина оптимального коефіцієнта розсунення зерен піску:

$$\mu_{\text{опт}} = 2,1 \cdot \left(1 + \frac{d_{\text{ш}}}{d_{\text{п}}} \right)^3 - 1,1 \quad (5)$$

$$V_{\text{опт}} = (B/C)_{\text{опт}} \cdot C + \text{Щ} \cdot W^{\text{Щ}} + \text{П} \cdot W^{\text{П}} \quad (6)$$

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

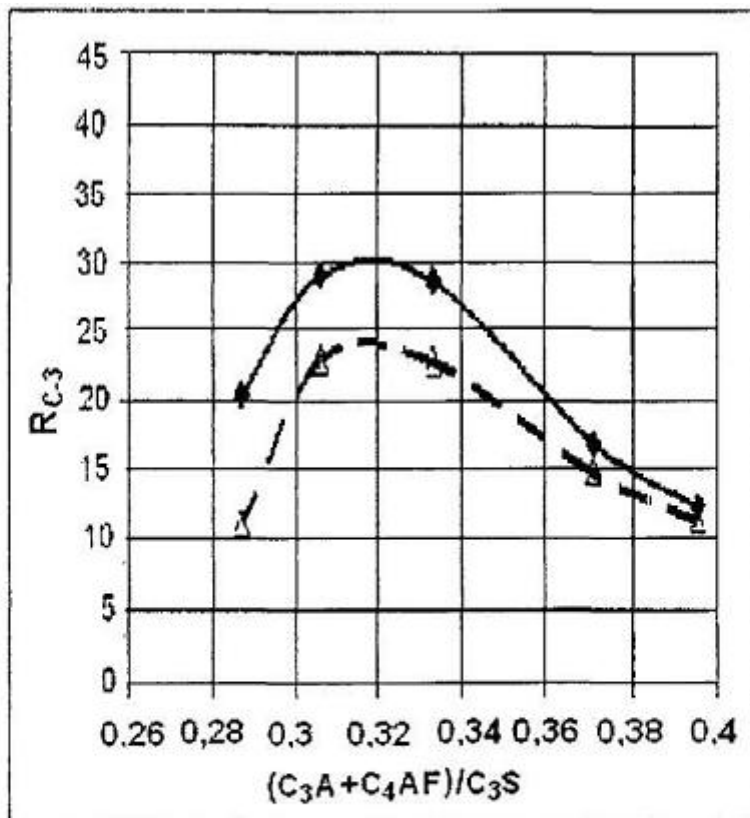
$\rho_{\text{нас}}^{\text{Щ}}, \rho_{\text{нас}}^{\text{П}}$ - насипна щільність щебеню і піску;

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

5 $d^{\text{Щ}}, d^{\text{П}}$ - середні розміри фракцій щебеню і піску, що визначаються по максимальній щільності розподілу розмірів зерен;

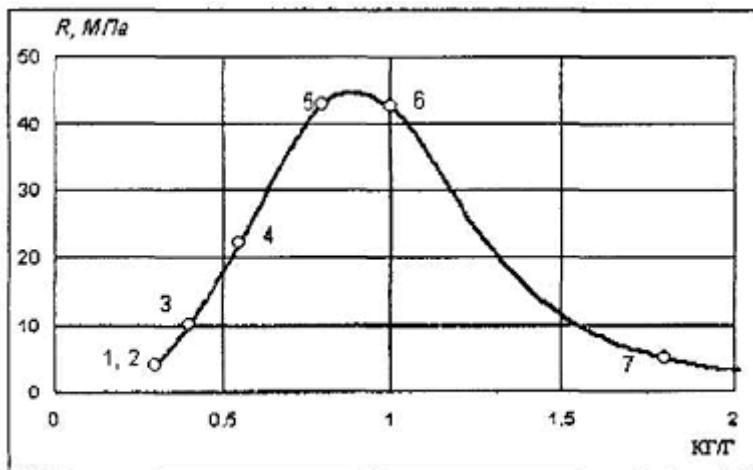
$d^{\text{Ц}}$ - середній розмір найбільшої фракції цементу,

10 та оптимальну кількість добавки CaCl_2 визначають по максимальній міцності бетонних зразків з оптимальними витратами $C_{\text{опт}}, P_{\text{опт}}, C_{\text{опт}}$ і $V_{\text{опт}}, (C-3)_{\text{опт}}$ через 12 годин витримки при температурі 30 °С, при виготовленні бетонної суміші добавку CaCl_2 вводять останньою в кінці перемішування, контролюють легкоукладаність бетонної суміші за показниками осідання конуса $OK \leq 2$ см і вібророзтічності $BP \leq 120$ с, і після формування витримують бетон у формі в камері пропарювання без подачі пари при температурі не менше 30 °С, або влітку при такій же температурі на відкритому майданчику протягом 12-18 год.

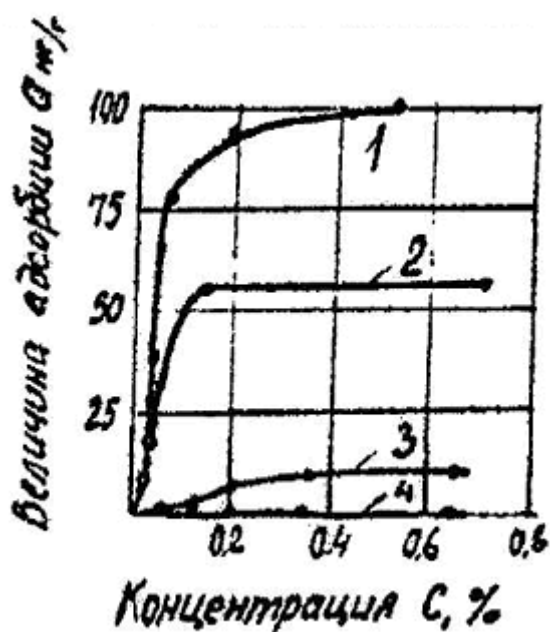


—△— бездобавочний цементний камінь —◆— цементний камінь з
 добавкою С-3; —■— цементний камінь с добавкою С-3+ТФ

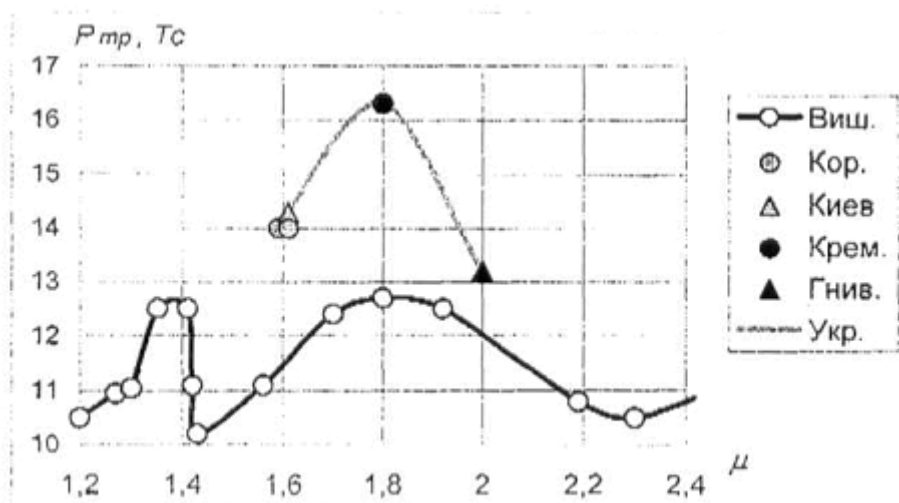
Fig. 1



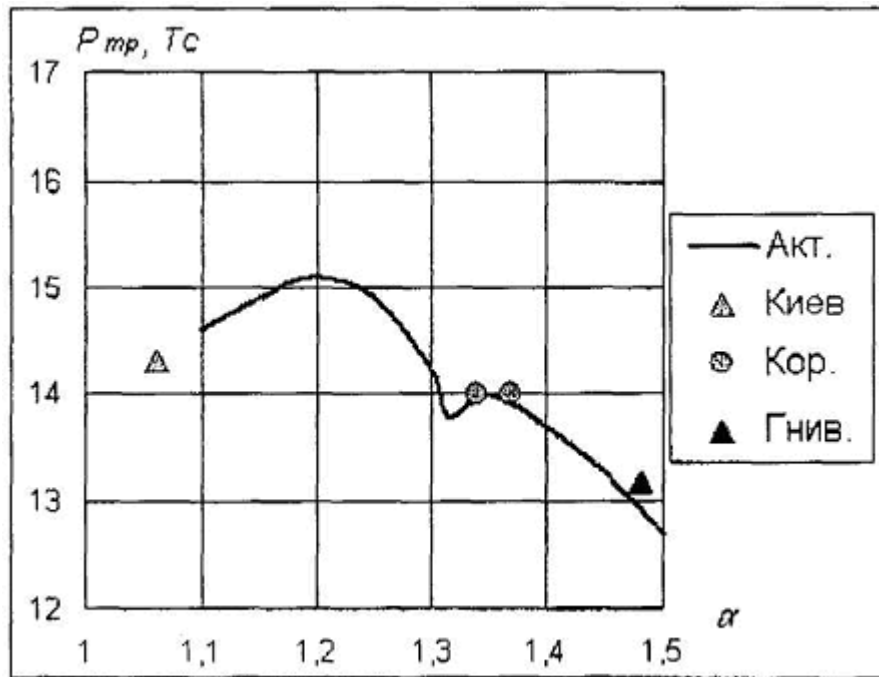
Фиг. 2



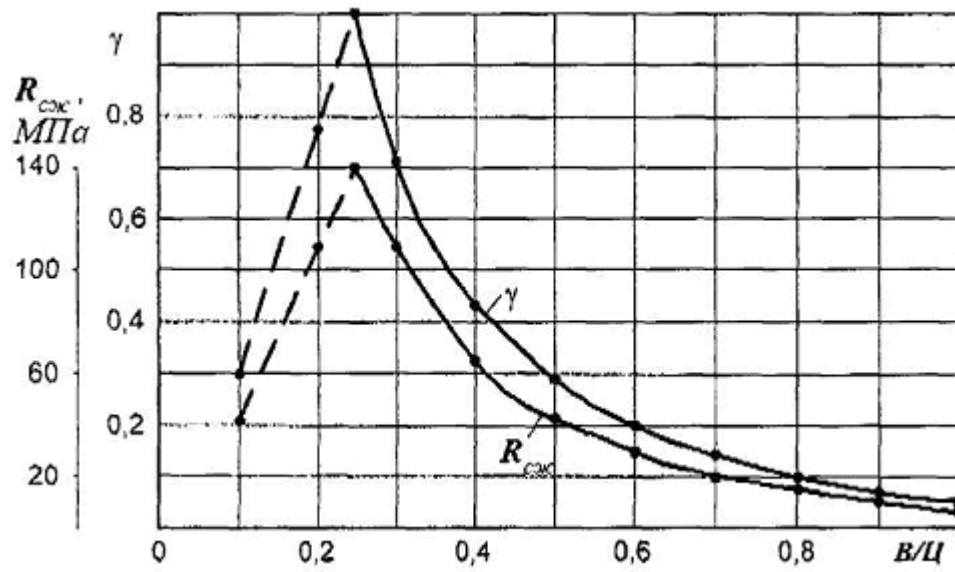
Фиг. 3



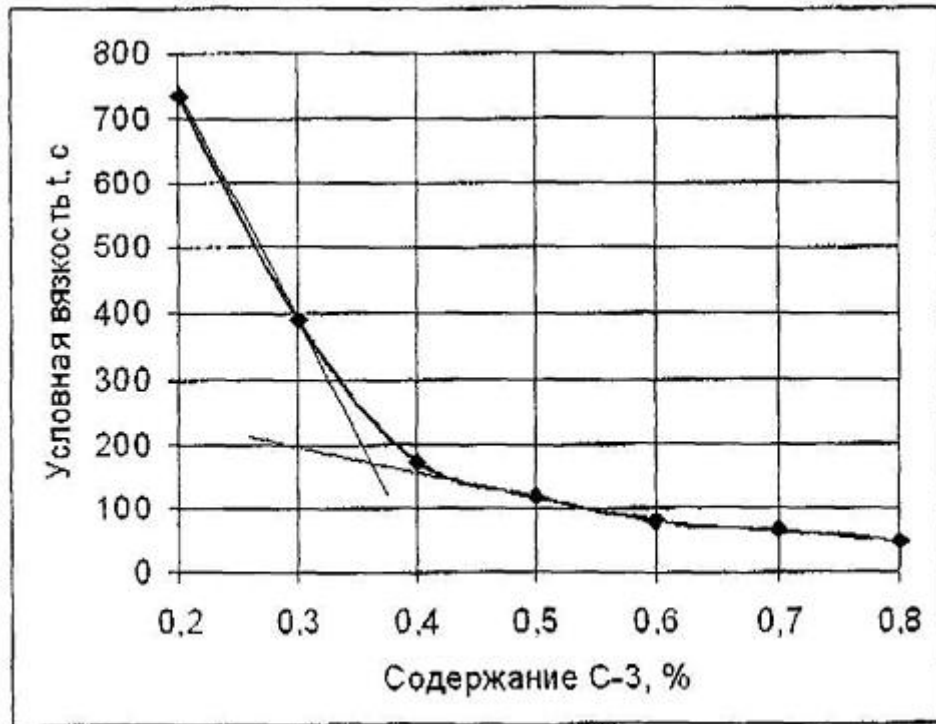
Фиг. 4



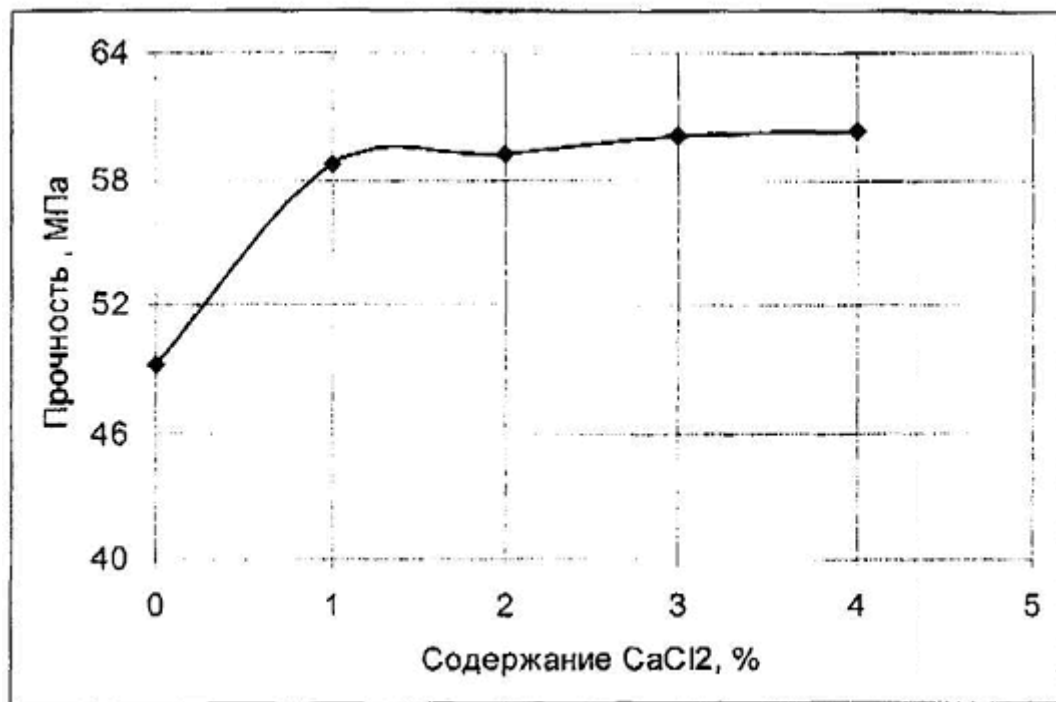
Фиг. 5



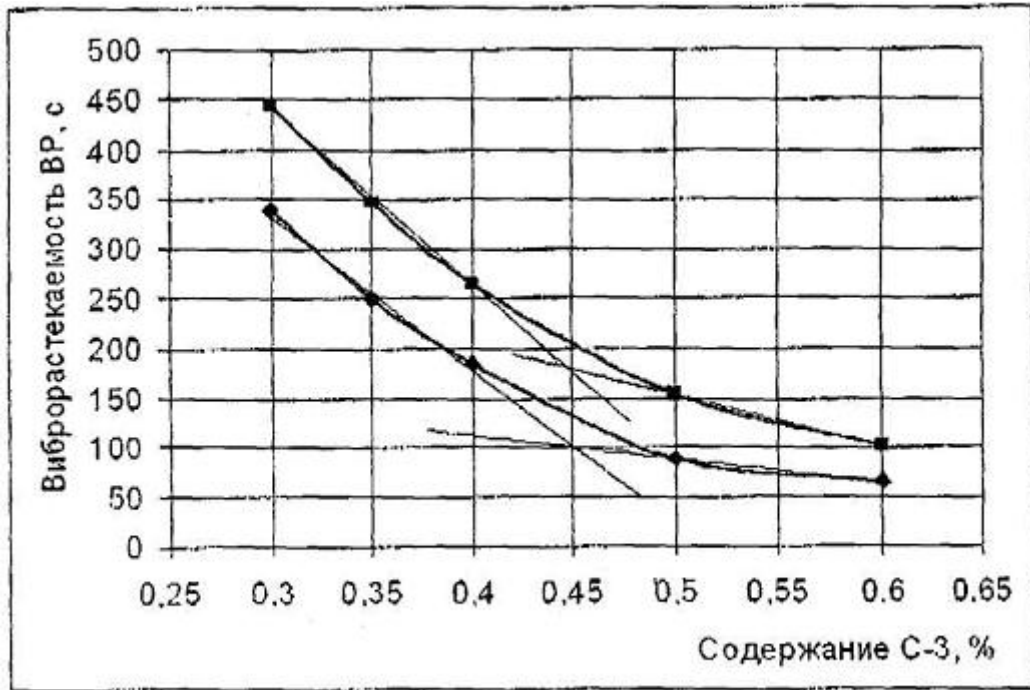
Фиг. 6



Фиг. 7



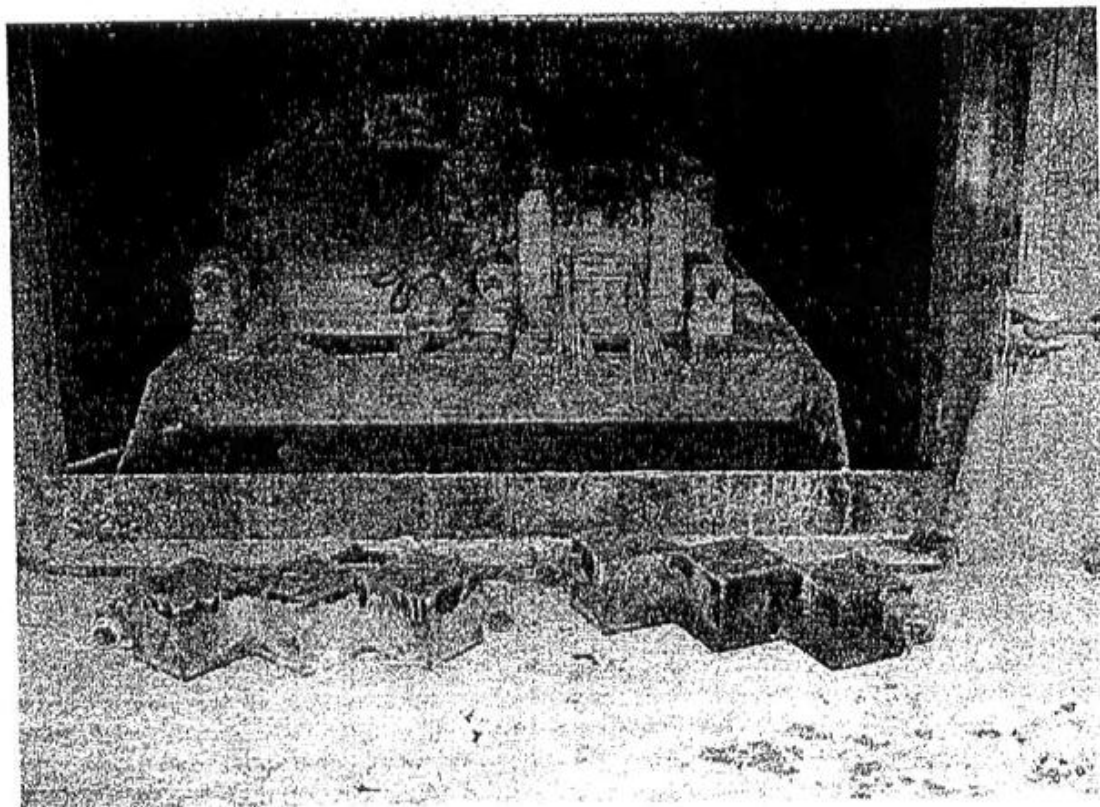
Фиг. 8



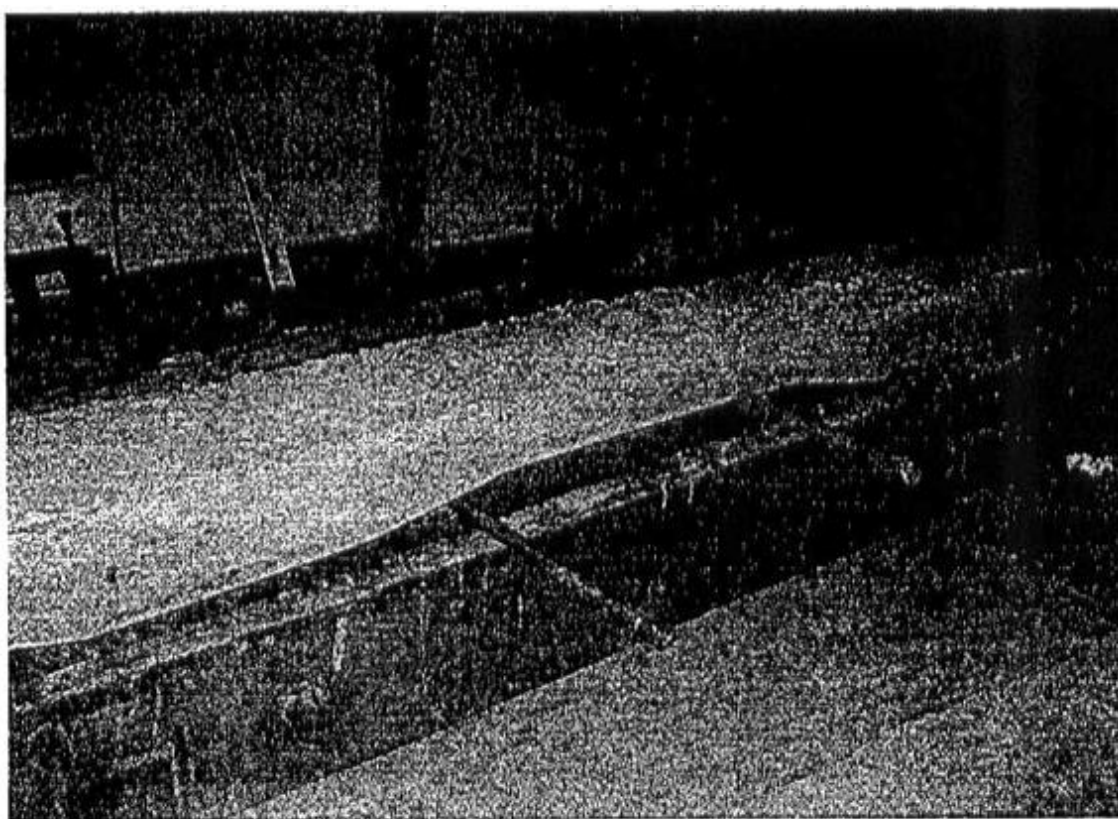
Фиг. 9



Фиг. 10



Φir. 11



Φir. 12

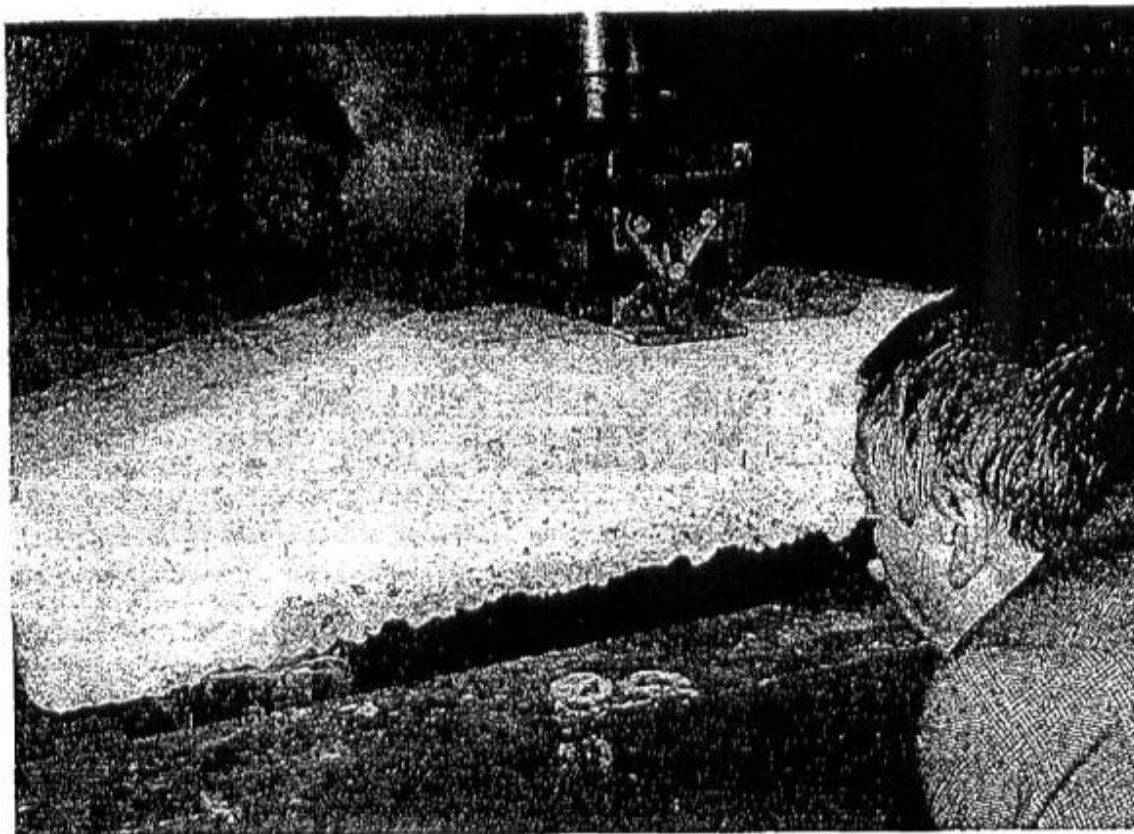
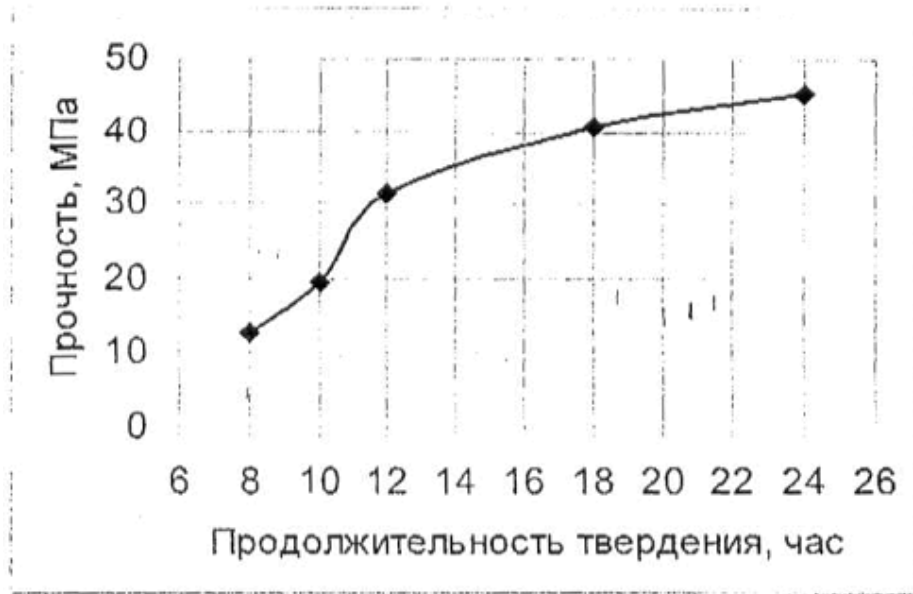


Fig. 13



Fig. 14



Фиг. 15

Комп'ютерна верстка Л.Литвиненко

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601