

ФАЙНЕР МАРКО ШИКОВИЧ

**Системно-структурна концепція і технологічні методи
ресурсозберігання у виробництві важких цементних
бетонів**

- 05.23.05 - Будівельні матеріали і вироби -

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття вченого ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис.

ДВ 31.000

Робота виконана у Державній фірмі "Будівельник Буковини",
м.Чернівці.

Офіційні опоненти:

Лауреат Державної премії України, Заслужений діяч науки і
техніки України, чл.-кор. АН Грузії, доктор технічних наук,
професор О.П.Мchedлов-Петросян

Лауреат премії Ради Міністрів СРСР, член-корр. МІА, Академік АН
України, доктор технічних наук,

професор В. А. Вознесенський

Академік АБ України, доктор технічних наук,

професор М. А. Саницький

Провідна організація: - Дніпропетровське дочірнє арендне підприємство

ДНБ

Захист дисертації відбудеться "1" листопада 1999 р. о 14
годині на засіданні спеціалізованої Ради Д.068.33.01 при Харківському
державному технічному університеті будівництва та архітектури за адресою
310 002 , м. Харків, вул Сумська,40.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського державного
технічного університету будівництва та архітектури.

Автореферат розісланий "30" вересня 1999 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради
доктор технічних наук, професор

М.Семельянова
ЛНБ ім. В. Стефаніка. Ємельянова
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00777046 (V)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В умовах економічної скрути зростає реальне значення кожного відсотка зниження матеріальних і енергетичних витрат, які у будівництві складають до 80%, з яких 30-40% паливно-енергетичні у виробництві бетону і залізобетону.

У виробництві бетону і залізобетону використовується багато ефективних ресурсозберігаючих технічних рішень. Разом з тим наукові розробки і їх реалізація носять фрагментарний і неупорядкований характер, а сама проблема ресурсозберігання не піднята до рівня узагальнення і систематизації. Розвиток проблеми вимагає і перегляду деяких фундаментальних основ бетонознавства, розробки узагальнених залежностей впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону, нових наукових ідей і технічних рішень.

Робота над проблемою розпочата автором у 1970 році, а над дисертацією - у 1981 році. За ці роки багато нових досліджень і розробок впроваджено у виробництво, а деякі спірні висновки стали загальноприйнятими. Результати досліджень використовувались у вирішенні державних цільових науково-технічних програм, у тому числі "Матеріаломісткість".

МЕТА ДИСЕРТАЦІЇ є формування системної концепції ресурсозберігання і розробка технологічних методів її здійснення у виробництві важких цементних бетонів.

Для досягнення мети треба вирішити такі задачі:

- узагальнити і систематизувати основні напрямки ресурсозберігання;

- проаналізувати теоретичні основи бетонознавства;

- розробити системно-структурну концепцію технології бетону;

- впровадити нові ідеї і технічні рішення у методи дослід-

ження властивостей матеріалів;

- уточнити закономірності впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону;

- розробити нові ресурсозберігаючі технічні рішення;

- розробити систему проєктування і оперативного регулювання складів бетону у процесі виробництва за допомогою ЕОМ.

Наукову новизну роботи складають:

- класифікація основних напрямків ресурсозаощадження і модифікації бетону за функціональним призначенням;

- системно-структурна концепція технології бетону;

- нові закономірності впливу міцності цементу і Ц/В на міцність бетону;

- теоретичні і експериментальні основи активації компонентів бетонної суміші /Патенти СРСР на винаходи № 1072392, 1981, ДСК; 1121911, 1983, ДСК; 1497980, 1987, ДСК; Авторське свідоцтво СРСР на винахід № 1701707, 1987/ і інтенсифікації процесів формування і теплової обробки бетону /Авторські свідоцтва СРСР на винаходи № 1184161, 1984, ДСК; 981297, 1982 та інші/;

- способи оцінки якості цементів, заповнювачів і ефективного співвідношення між ними /Патент СРСР на винахід № 1785573, 1981; Патенти РФ на винаходи по заявках № 4721344, 1989, 4910161, 1991/;

- способи одержування і застосування комплексних модифікаторів бетону /Авторські свідоцтва СРСР на винаходи № 939419, 1980; 945643, 1981; 1146972, 1983, ДСК; 1189841, 1984; 1540210, 1987, ДСК; 1564135, 1988; ТУ 563/10.18-0334797-90 та інші/;

- алгоритми проєктування і оперативного регулювання складів бетону за допомогою ЕОМ.

Автор захищає:

- узагальнення, систематизацію і класифікацію основних напрямків ресурсозаощадження і модифікації у виробництві важких це-

ментних бетонів;

- системно-структурну концепцію технології бетону;
- теоретичні і експериментальні основи активації компонентів бетонної суміші високовольтним електричним розрядом у рідині;
- нові закономірності впливу основних факторів на співвідношення компонентів бетонної суміші і міцність бетону;
- методику і технологію експерименту по визначенню якості компонентів бетонної суміші;
- способи удосконалення процесів формування і теплової обробки бетону;
- кількісні залежності впливу основних факторів на рухомість бетонної суміші, міцність, морозостійкість, водонепроникливість і економічність бетону;

Практичне значення роботи полягає у:

- визначенні узагальнених кількісних залежностей впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону;
- впровадженні нових методів визначення якості матеріалів і бетону;
- нових ресурсозберігаючих технічних рішеннях;
- алгоритмах проектування, регулювання і техніко-економічного аналізу складів бетону за допомогою ЕОМ;
- висновках і пропозиціях щодо визначення найбільш ефективних ресурсозберігаючих напрямлень;
- використанні результатів досліджень у нормативних документах;
- досвіді промислового використання нових технологічних рішень.

Апробація роботи

Результати досліджень подані на 3 Міжнародних, 6 Всесоюз-

них /СРСР/ і більш як на 30 республіканських і регіональних сим-
позіумах, конференціях і семінарах, у тому числі на Міжнародному
симпозіумі "Ресурсосберегающие модификаторы бетона" /Чернівці,
1992/, Міжнародному семінарі "Экспериментально-статистическое
моделирование и компьютерное материаловедение" /Одеса, 1993/,
XXIII Міжнародній конференції у галузі бетону і залізобетону "Вол-
го-Балт-91" /Ленінград-Москва, 1991/, X Всесоюзній конференції
по бетону і залізобетону /Казань, 1988/, IV Всесоюзній науково-
технічній конференції "Электрический разряд в жидкости и его
применение в промышленности" /Миколаїв, 1988/, Всесоюзній нау-
ково-методичній конференції "Повышение квалификации руководящих
работников и специалистов - резерв роста эффективности и улуч-
шения работы предприятий и организаций народного хозяйства"
/Москва, 1981/. Результати досліджень використані у 4 норматив-
них документах і 6 рекомендаціях /у тому числі одному Міжнарод-
ному і 4 Всесоюзних/, впроваджені більш як на 100 підприємствах
України, Білорусі, Росії та інших держав.

Публікації

По проблемі дисертації опубліковано 78 основних наукових
робіт, у т.ч. 3 монографії, 1 оглядова інформація, 48 статей,
16 Авторських свідоцтв і патентів на винаходи, 10 нормативних
і методичних документів.

Структура і об'єм роботи

Дисертацію складають вступ, десять глав, загальні висновки,
список літератури 366 назв і додатки. Перші три глави присвя-
чені узагальненню і систематизації, теоретичним і методологічним
основам; четверта, п'ята, шоста і сьома - експериментальним до-
слідженням; восьма - технологічним основам комп'ютеризації;
дев'ята і десята - виробничому досвіду і техніко-економічному

аналізу; у додатках наведені протоколи НТР і акти впровадженнь. Загальний обсяг дисертації 467 сторінок, з них малюнки на 18 сторінках, таблиці - на 60.

Спадкосмість досліджень

Пізнавальна концепція виходить з того, що нове знання розвивається не замість старого, а разом з ним. Саме тому ряд нових положень та висновків не принижують достоїнств наукових праць інших авторів. Перелік авторів, які займались ресурсозаощадженням, зайняв би десятки сторінок. Відзначимо тільки тих науковців, з якими безпосередньо зв'язана робота: О.П.Мчедлов-Петросян, - теоретичні основи технології бетону; В.А.Вознесенський, К.Дей - експериментально-статистична і комп'ютерна концепція технології бетону; Р.Бай, В.І.Соломатов - поліструктурний підхід; Ю.М.Баженов, І.М.Грушко, Л.А.Кайсер, М.І.Зошук, В.М.Пунагін, В.П.Сізов - вплив основних факторів на міцність бетону; В.Г.Батраков, М.М.Сичов, В.С.Рамачадран, В.Б.Ратінов - модифікація бетону добавками; В.І. Бабушкін, О.В.Кунцевич, Ф.М.Іванов, В.М.Москвін, В.Л.Чернявський - довговічність бетону; І.А.Ахвердов, Г.А.Гулий, С.П.Зубрілов, П.Г. Комохов, П.П.Малюшевський, Г.В.Шенгур, Л.О.Юткін - електрофізичні методи активації речовин; Б.О.Крилов, Л.О.Малініна, О.В.Ушеров-Маршак - теплова обробка бетону; І.І.Циганков - техніко-економічний аналіз. Системні і структурні дослідження висвітлювались у роботах В.М.Вирового, В.А.Вознесенського, І.М.Грушко, Ю.В.Зайцева, Б.А.Лішанського, М.В.Младової, методи ресурсозаощадження - М.П. Блещика, В.М.Гладишева, В.В.Гусева, М.Г.Дюженко, М.М.Купріянова, Є.Н.Малінського, М.А.Саницького, О.С.Сіліної, М.І.Ситника, М.А. Сторожука, В.М.Шмигальського та ін.

ЗМІСТ РОБОТИ

Одним з основних напрямків ресурсозаощадження у будівництві є удосконалення залізобетонних конструкцій будівель і інженерних

споруд. При цьому прокреслюється тенденція використання високоміцних бетонів у стиснутих елементах. Літературні дані і практичний досвід свідчать про можливість скорочення витрат бетону і сталі на 10-30% при застосуванні високоміцних бетонів для виготовлення колон, укріплення вугільних шахт, у мостобудівництві, енергетичному, оборонному і водогосподарському будівництві. Але однією з причин стримування застосуванню конструкцій з високоміцних бетонів є недосконалість технології. Дослідженнями засвідчена реальна можливість масового застосування високоміцних бетонів у будівництві.

Літературний аналіз і патентні дослідження по офіційним джерелам індустріально розвинутих країн свідчать, що вирішення проблеми ресурсозберігання у виробництві бетону націлено на удосконалення рецептурно-технологічних рішень і впровадження нових технологічних процесів. Класифікація основних напрямків ресурсозберігання наведена на мал. 1. Як показує аналіз, найбільш перспективними напрямками є застосування багатоконпонентних цементів, модифікація бетону добавками, електрофізична обробка в'язучих, комп'ютеризація технологічних процесів. При цьому багато уваги приділяється методам оцінки якості матеріалів і вибору складів бетону.

Зважаючи на те, що модифікатори бетону є основним напрямком ресурсозберігання, виникає потреба у новому підході до їх оцінки і класифікації. В основу такого підходу покладені принципи функціонального призначення, техніко-економічного і соціального ефектів. У запропонованій класифікації /мал. 2/, на відміну від відомих, до одного класу можуть бути віднесені модифікатори з різним механізмом дії і технологічним ефектом.

Найбільший ресурсозберігаючий ефект може бути досягнений при застосуванні комплексних методів, включаючих використання

багатокомпонентних цементів з мінеральними добавками, хімічних модифікаторів, електрофізичної активації зв'язуючих і наповнювачів, удосконалених режимів ущільнення і тверднення бетонної суміші, пресування у процесі тверднення з вилученням надлишкових частини води і повітря. І все це при виборі раціональних складів бетону і оперативному їх регулюванні у процесі виробництва.

Підсумовуючи результати аналізу основних напрямків ресурсозберігання, можна зробити висновок, що у виробництві бетону і залізобетону є реальні можливості зниження витрат на матеріали на 20-30% і енергетичні ресурси у 1,4-1,6 рази.

Розробка кожного наукового напрямку пов'язана з методологічною концепцією. Розробка основних напрямків ресурсозберігання потребує своєрідного підходу, особливої форми і композиційної побудови дослідження, які забезпечували б багатоплановість, багатомірність і багатофокусність, тобто розгляд проблеми у різних структурних рівнях і системах вимірювання. Особливість цього дослідження полягає і у відносній незалежності від вузькоспеціалізованих теорій, і, в той же час, зв'язком з проблемами технічної фізики, хімії, математики, економіки і організації виробництва.

На основі аналізу сучасних методологічних підходів запропонована системно-структурна концепція технології бетону, яка полягає у розгляді бетону як ієрархії системно-структурних рівней /від зв'язуючої і композитної систем до бетону у конструкції/ і їх взаємозв'язків, які формуються, трансформуються і розвиваються по принципу "система у систему" завдяки цілеспрямованого розвитку і модифікації. Окремі структурні рівні відрізняються як у просторі і часі, так і характером фізико-хімічних, технологічних закономірностей, що дозволяє розглядати їх віднос-

но незалежно і у взаємозв'язку з сусідніми рівнями. У цій системі верхнім системно-структурним рівнем є експлуатаційний, який включає будівлі і споруди або їх частини у стадії експлуатації. Нижчим системно-структурним рівнем є будівельно-технологічний, ще нижчими - конструкційний, композитний і зв'язуючий. Трансформування і розвиток системно-структурних рівней від нижчого до вищого відбувається у результаті цілеспрямованих дій. Суттєвою різницею між запропонованим підходом і відомими є розгляд об'єкту дослідження в його розвитку у відкритій і взаємозв'язаній технологічній і економічній системах.

При розгляді об'єкту дослідження необхідно виробити критерії, які б відповідали встановленій меті. При виконанні окремих досліджень відносно самостійними критеріями виступають реологічні, міцнісні, деформативні і інші властивості бетонної суміші і бетону, енергетичні і вартісні показники. Для комплексного аналізу системно-структурних рівней приймається загальноприйнятий показник витрат виробництва / S /, який дорівнює сумі витрат по всім компонентам і технологічним елементам, а також пропонується показник конструкційно-технологічної енергоємності / $\Pi_{крт}$ /, який дорівнює відношенню інтегральної енергоємності до показника якості:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i + \sum_{u=1}^m S_u \quad / 1 /$$

$$\Pi_{крт} = E\delta/R = (\sum_{i=1}^n E_i + \sum_{u=1}^m E_u) / R \quad / 2 / , \text{ де}$$

S_i - витрати по i -му компоненту; S_u - витрати по u -му технологічному елементу; n - кількість компонентів; m - кількість технологічних елементів; $E\delta$ - інтегральна енергоємність бетону; R - показник якості; E_i - енерговитрати по i -му компоненту; E_u - енерговитрати по u -му технологічному елементу.

У показники якості зв'язуючого рівня, наприклад, входить

міцність, конструкційного - несуча здатність, а експлуатаційного - площина або об'єм будівлі. Ці критерії вписуються у ієрархію системно-структурних рівней об'єкту дослідження і формують специфічну системно-структурну організацію критеріїв ефективності від зв'язуючого до будівельно-експлуатаційної систем.

Методологічна особливість дослідження полягає у необхідності описування елементів і системно-структурних рівней на основі включення залежностей нижчестоячих рівней у вищестоячі з позицій критерія ефективності вищестоячого. При цьому місце окремих критеріїв займають об'єктивні критерії, які виходять з задач кінцевої мети. Стратегічним завданням описування об'єкту дослідження є синтез одержаних залежностей впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону і витрат на його виробництво.

Найбільш повно вимогам задачі відповідають регресійні моделі. При описуванні впливу основних факторів $/ X_i, Y_i /$ на властивості бетону $/ \hat{Y}_1, \hat{Y}_2 \dots \hat{Y}_{m-1} /$ і техніко-економічні показники $/ \hat{Y}_m /$ система рівнянь буде мати такий вигляд:

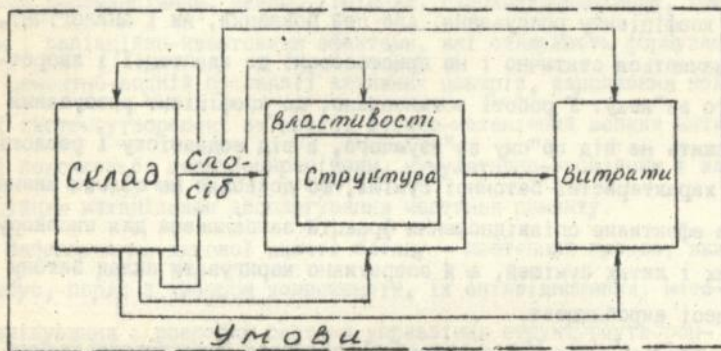
$$\left\{ \begin{aligned} \hat{Y}_1 &= a_0 + \sum_{i=1}^{k_1} a_{i1} X_{i1} + \sum_{i=1}^{k_1} a_{i1} X_{i1}^2 + \sum_{i < j} a_{ij} X_{i1} X_{j1} + \dots \\ \hat{Y}_2 &= b_0 + b_{11} \hat{Y}_1 + b_{11} \hat{Y}_1^2 + \sum_{i=2}^{k_2} b_{i2} X_{i2} + \sum_{i=2}^{k_2} b_{i2} X_{i2}^2 + \\ &+ \sum_{m \neq n} b_{yn} \hat{Y}_1 X_{i2} + \sum_{i < j} b_{ij} X_{i2} X_{j2} + \dots \\ \dots &\dots \\ \hat{Y}_m &= U_0 + \sum_{i=1}^{m-1} U_{i1} \hat{Y}_i + \sum_{i=1}^{m-1} U_{i1} \hat{Y}_i^2 + \sum_{i=m}^n U_{im} X_{mi} + \\ &+ \sum_{i=m}^n U_{ii} X_{mi}^2 + \sum_{m \neq n} U_{yn} \hat{Y}_i X_{mi} + \sum_{i < j} U_{ij} X_{mi} X_{mj} + \dots \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Оптимальність технологічних рішень у цьому дослідженні розглядається як найкращий варіант, який забезпечує потрібні власти-

вості бетонної суміші і бетону при найменших витратах виробництва з урахуванням обмежень на ресурси.

На сучасному етапі розвитку теоретичних знань про бетон його властивості розглядаються у взаємозв'язку з складом і структурою. Аналіз теоретичних моделей бетону приводить до висновку, що його міцність залежить від об'ємного співвідношення компонентів і міцності їх зчеплення. Отже, для визначення впливу властивостей зв'язуючого на міцність бетону треба визначити його міцність на розтяг.

Розглядаючи формування структури і властивостей бетону як процес переходу від одного системно-структурного рівня до іншого, необхідно визначити внутрішні і зовнішні рушійні сили цієї організації. Запропонована концепція передбачає перехід від класичної схеми "склад-структура-властивості" до аналізу процесів їх активного формування за схемою:



На перших стадіях формування зв'язуючої системи провідну роль грають особисті структури цементних частинок і води, вибіркові взаємодії і групові поля цих взаємодій. Ці процеси складної детермінації, що направляються енергетичним впливом на систему і є основним джерелом виникнення і розвитку системно-структурних рівней.

У процесі формування структури бетону особлива роль належить механізму складання пустотності заповнювачів. Теоретичне обґрунтування цього процесу зв'язують з моделюванням "ідеального" ґрунту, різною упаковкою геометричних фігур та ін. Однак результати цих досліджень справедливі тільки у тих випадках, коли розмір частинок безмежно малий у порівнянні з ємністю, у якій вони знаходяться. Що до бетону, то розмір частинок заповнювача зміряється з перерізом конструкції, а такі розрахунки доводять до того, що у тонкостінних густоармованих виробках піску у складі суміші виходить мало, а у масивних – забагато. Тому це питання у роботі вирішується з позицій подібності моделі і конструкції.

Макроструктура бетону, поряд з щільністю упаковки заповнювачів, визначається і товщиною шару зв'язуючого. Ефективне співвідношення різних фракцій заповнювача розраховується за допомогою коефіцієнту розсування. Але цей показник, як і аналогічні, визначаються статично і не пристосовані до адаптації і зворотнього зв'язку. У роботі встановлено, що коефіцієнт розсування залежить не від об'єму зв'язуючого, а від водовмісту і реологічних характеристик бетонної суміші, що дозволяє не тільки визначати ефективне співвідношення фракцій заповнювача для високорухомих і литих сумішей, а й оперативно коригувати склад бетону у процесі виробництва.

Термодинамічна направленість процесів структуроутворення визначає і основні напрямки удосконалення технологічних процесів – це модифікація і гомогенізація, ефективне ущільнення. Механізми модифікації бетону добавками добре відомі, тому задача дослідження полягала у застосуванні і удосконаленні теоретичних знань до синтезу нових модифікаторів, які б відповідали поставленим вимогам.

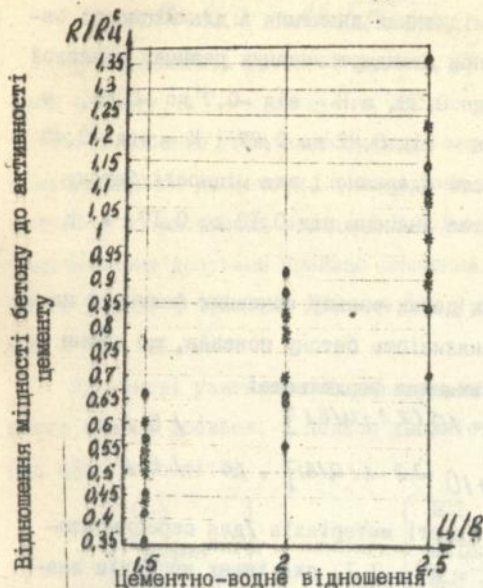
У загальному плані досліджень були розглянуті методи модифікації бетонної суміші електрофізичними засобами. Найбільш сильний ефект, а саме мікровибухи у об'ємі зв'язуючого, може дати високовольтний електричний розряд, енергія якого за 10^{-4} - 10^{-9} с досягає 10^9 Дж, а імпульсна електрична потужність 10^3 - 10^7 кВт. Розглядаючи механізм утворення і розвитку ударних хвиль, запропоновано вводити у середовище розряду продукти, які б просягали у тріщини частин зв'язуючого, а також взаємодіяли з продуктами гідратації, генеруючи виникнення осередків кавітації. Як показали теоретичні дослідження у процесі обробки цементно-водної суспензії високовольтним електричним розрядом можуть виникати нові, раніш не відомі, ефекти: регенерація молекул води з утворенням H_2 і H_2O_2 , твердофазні високотемпературні хімічні реакції, розрив зв'язків $\equiv Si - O - Si \equiv$. Фізико-хімічний аспект активації зв'язуючого високовольтним електричним розрядом пояснюється дислокаційним, плазмо-хімічним, газоконденсаційним, тепловим і радіаційно-квантовими ефектами, які стимулюють формування у цементно-водній суспензії активних центрів, зародження нових фаз і системоутворюючих зв'язків. Фізико-механічний аспект активації пояснюється дезагломераційним, кумулятивно-ерозійним і кавітаційним механізмами диспергування частинок цементу.

Забезпечення високої якості бетону - поетапний процес, який потребує, поряд з вибором компонентів, їх співвідношення, методів змішування і розробки системи управління структуроутворенням на стадіях ущільнення і тверднення. Теоретичне обґрунтування цих процесів наводиться у багатьох роботах. Разом з тим, деякі питання ущільнення високорухомих і литих бетонних сумішей, а також управління процесами виділення газообразної і рідинної фази, незважаючи на їх актуальність, не знайшли належного висвітлення. На основі аналізу механізмів розвитку газообразної

фази можна прогнозувати, що підвищення температури форм і поліциклічне ущільнення з короткочасними паузами повинно зменшити вміст повітря у бетоні. Аналогічний ефект видучення газообразної і рідинної фази, мабуть, можливий і при теплової обробці бетону під тиском.

Для перевірки теоретичних положень і одержання кількісних залежностей впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону були виконані багатопланові експериментальні дослідження. Причому, на першому етапі, була удосконалена сама методика і технологія експерименту. Зокрема, було запропоновано визначати міцність цементу при постійних значеннях В/Ц і об'єму цементно-піщаного розчину, водопотребу заповнювачів при співвідношенні фракцій, що забезпечують найменшу водопотребу бетонної суміші, коригування виробничого співвідношення між піском і щебенем за абсолютними об'ємами, визначення пустотності заповнювача у ємності, що моделює переріз конструкції і коефіцієнту розсування в залежності від водопотреби і рухомості бетонної суміші. До того ж удосконалена методика визначення водонепроникливості і запропонований спосіб оперативного визначення морозостійкості бетону у зразках і конструкціях по опору прониканню повітря.

На основі виконаних експериментальних досліджень встановлено ряд нових закономірностей. Зокрема, дана відповідь на питання, яке хвилювало бетонознавців протягом десятків років: чому при однакових значеннях активності цементу і Ц/В міцність бетону різна. Встановлено, що на показники міцності бетону при стиску суттєво впливає метод визначення міцності цементу і показник міцності на згин. Фрагмент залежності міцності бетону від Ц/В при різних методах оцінки міцності цементу наведений на мал. 3.



Мал. 3. Залежність міцності бетону від Ц/В при різних методах оцінки міцності цементу: ... стандартний; ... запропонований.

Аналіз наведених даних показує, що тільки за рахунок удосконалення методів випробування цементу коефіцієнт варіації показників міцності бетону може бути зменшений у 1,5-2 рази. При цьому характер полоси залежності пояснюється різною пористістю бетону, як було прийнято, а недосконалістю методів випробовування і неврахуванням багатьох факторів.

З урахуванням наведених фактів відома залежність міцності бетону від основних факторів Болонья-Скраматова-Баженова набуває якісно нового змісту:

$$R = AR_u^k (\text{Ц/В} + K) \quad , \text{ де } / 4 /$$

A і K - показники якості матеріалів і умов тверднення бетону;

$$R_u^k = R_u^c + k_u R_u^u \quad - \text{ комплексний показник міцності цементу;}$$

R_u^c - міцність цементу на стиск;

R_u^u - міцність цементу на згин;

k_u - коефіцієнт, що залежить від методів випробування бетону /при випробуванні зразків-кубів на стандартних плитах пресу $k_u = 8,2/$.

Значення A і K не є постійними і можуть змінюватися одно-

АН України

разово. Так, у виконаних дослідженнях значення A для міцності бетону після теплової обробки при стандартизованих режимах теплової обробки змінюється від 0,28 до 0,33, а K - від -0,7 до -0,85, в умовах нормального тверднення - від 0,22 до 0,27 і K - від -0,45 до -0,55. Аналогічні залежності одержано і для міцності бетону на розтяг. Коефіцієнт A набуває значень від 0,12 до 0,17, а K - від 0,45 до 0,6.

Аналіз експериментальних даних впливу основних факторів на морозостійкість і водонепроникливість бетону показав, що вони можуть бути апроксимовані рівнянням Ферхюльста:

$$F = A^F F_{max} / [1 + 10^{(2,2 - 4/8)}] \quad / 5 /$$

$$W = A^W W_{max} [1 + 10^{(2,2 - 4/8)}], \text{ де } / 6 /$$

A^F і A^W - коефіцієнти якості матеріалів /для середньоалюмінатного портландцементу $A^F = A^W = 1,1$, для інших випадків значення коефіцієнтів змінюється від 0,6 до 1,4/;

F_{max} , W_{max} - максимальні експериментальні значення морозостійкості і водонепроникливості бетону /для середньоалюмінатного портландцементу при застосуванні гранітного щебеню і кварцевого піску $F_{max} = 300$, $W_{max} = 1/$.

Одержана система кількісних залежностей дуже легко адаптується, репродуктується і може бути застосована для проектування і оперативного регулювання складу бетону.

Для експериментального дослідження впливу модифікаторів на властивості бетонної суміші вивчались відомі і розроблені добавки. Дослідження виконувались на цементах, що відрізнялись хіміко-мінералогічним і речовинним складом.

На базі експериментальних досліджень одержані кількісні залежності водоредуцируючого ефекту $1/\Delta B_{sc}$, який виражається залежністю:

$$\Delta B_{\text{дс}}/\sqrt{Y} = A^B \sqrt{D\% \cdot Ц/В} \quad , \text{де } / 7 /$$

Y – рухомість бетонної суміші, $D\%$ – вміст добавки, % від маси цементу, A^B – коефіцієнт, що залежить від якості матеріалів, у т.ч. і добавки /при застосуванні середньоалюмінатного цементу з мінеральними добавками, щебеню фракції 5–20 мм і піску з водо-потребою по уточненій методиці Ю.М.Баженова 7–8% A^B у області раціональних дозувань приймає значення для добавок С-3, "Дофен", СМФ і ПФМ-БС – 4,8...5, ЛСТ – 4,5...4,8, УПБ,НДК – 4,2...4,4, ПФС – 3,8...4,2/.

На основі узагальнення експериментальних даних пластифікуючого ефекту добавок, з деякою умовністю, можна побудувати такий ряд ефективності:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{С-3} \\ \text{"Дофен"} \\ \text{СМФ} \\ \text{ПФМ-БС} \\ \text{С-3+ЛСТ} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{l} \text{ЛСТ} \\ \text{ЛСТМ-2} \\ \text{УПБ-К} \\ \text{ПФС} \\ \text{ПФС+НДК} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{l} \text{УПБ} \\ \text{НДК} \\ \text{ФТП} \\ \text{ЦСПК} \end{array} \right\}$$

Що до міцності бетону, то картина впливу добавок тут більш строката і яскрава. Багато добавок, які давали високий пластифікуючий ефект, опинились по показнику міцності майже на останньому місці. Так, наприклад, при дослідженні добавок УПБ, ЛСТМ-2 і С-3 при умовах теплової обробки бетону по стандартизованому режиму на цементі Миколаївського ЦГК добавка ЛСТМ-2 давала пластифікуючий ефект трохи нижчий, ніж С-3, а пластифікуючий ефект УПБ був незначний. Однак, при розгляді ефективності цих добавок при порівнянні рухомості бетонної суміші, з позицій міцності бетону ефект ЛСТМ-2 виявився майже негативний, а УПБ – позитивний.

Для кількісної оцінки впливу добавок пластифікаторів і електrolітів на міцність бетону був застосований новий методичний прийом, що полягає у відбитті міцності бетону через міцність

зв'язуючого з добавками:

$$R = \varphi [R_{ц}^k (1 + \Delta R_{ц}^k / 100) = \\ = \varphi \left\{ R_{ц}^k [1 + (b_1 D_1^{\gamma_1} + b_{11} D_1^{\gamma_1^2} + b_2 D_2^{\gamma_2} + b_{22} D_2^{\gamma_2^2} + b_{12} D_1^{\gamma_1} D_2^{\gamma_2}) / 100] \right\} / 8 /$$

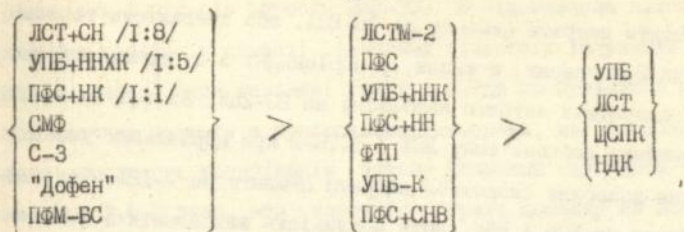
Для пластифікуючих добавок у цій залежності відіграє суттєве значення тільки коефіцієнт b_{11} , значення якого залежить від умов тверднення бетону і ефективності цементу при пропарюванні. Так, наприклад, значення b_{11} при застосуванні добавки ЛСТ для цементу III групи ефективності при пропарюванні в умовах теплової обробки по стандартизованому режиму становить /-250/, а в умовах нормального тверднення - /-80/, ПФМ-ВС - відповідно /-II/ і /-9/, УПБ - /-150/ і /-40/, ПФС - /-13/ і /-10/. А застосування добавок ННК і ННХК з УПБ дає синергічний ефект підвищення міцності. Аналогічні дослідження були виконані для виявлення протиморозних дій комплексних добавок.

Узагальнення експериментальних досліджень дозволяє, умовно, виявити групи модифікаторів по їх ефективності при твердненні бетону у різних умовах:

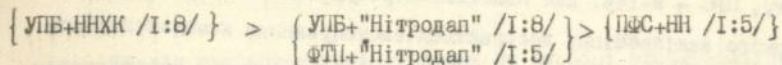
в умовах теплової обробки при загальній тривалості до 13 годин і температурі ізотермічного процесу до 80°C -

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{ЛСТ+СН /I:10/} \\ \text{УПБ+ННХК /I:8/} \\ \text{ПФС+НН /I:1/} \\ \text{СМФ} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{l} \text{С-3} \\ \text{"Дофен"} \\ \text{ПФМ-ВС} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{l} \text{ПФС} \\ \text{УПБ+ННХК} \\ \text{ПФС+НН} \\ \text{ФТП} \\ \text{УПБ-К} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{l} \text{УПБ} \\ \text{НДК} \\ \text{ПФС+СНВ} \end{array} \right\} > \left\{ \begin{array}{l} \text{ЛСТ} \\ \text{ЩСПК} \end{array} \right\}$$

у нормальних умовах тверднення, а також при тепловій обробці з загальною тривалістю процесу більш як 15 годин і температурою ізотермічного процесу не нижче 80°C -



при негативних температурах -



Одним з ефективних напрямків ресурсозберігаючої модифікації бетону є застосування органінеральних добавок. На наш погляд, застосовувати ці добавки краще при виготовленні цементу. На Кам.-Подільському цементному заводі були досліджені композиції, що включають УПБ і пил електрофільтрів зони підсушки випалювальної печі, а також УПБ і термоактивовану суміш гранульованого шлаку і золи Ладженської ДРЕС. Експериментальними дослідженнями встановлено, що застосування органінеральної добавки, що включає УПБ і пил електрофільтрів, неефективне при тепловій обробці, а також при високих вимогах по морозостійкості бетону. У той же час добавка при співвідношенні компонентів 1:100 і витраті 20-25% від маси в'язучого ефективна для бетонів класів В7,5-В20 в умовах нормального тверднення. Комплексна органінеральна добавка УПБ+зола+шлак при співвідношенні компонентів 1:50:50 і загальній витраті 26-30% від маси зв'язуючого ефективна і при тепловій обробці для бетонів класів В7,5-В25 морозостійкістю до 100 циклів.

Аналіз ресурсозберігаючого ефекту досліджуваних модифікаторів показує, що їх застосування може бути направлено як на підвищення якісних показників бетонної суміші і бетону, так і скорочення витрат цементу, клінкерної складової, теплової енергії та ін. Так, наприклад, застосування суперпластифікатора ПФМ-БС при рухомості бетонної суміші П-3-П4 для бетону класів В30-В40 дозво-

ляе скоротити витрати цементу на 18-22%, або тривалість теплової обробки на 2-3 години, а також, у порівнянні з суперпластифікатором С-3, скоротити витрати нафталіну на 20-25%. Застосування лігносульфонатних добавок типу ЛСТ і ЛСТМ-2 при нормальних умовах тверднення дозволяє скоротити витрати цементу на 7-12%. Такі відомі добавки як УПБ і НДК дають можливість зекономити 5-10% цементу, ППС - 9-14%. Але найбільший ресурсозберігаючий ефект для збірного залізобетону досягається застосуванням комплексних добавок ППС+НН, ППС+НК, УПБ+ННК, ЛСТ+СН. Застосування суперпластифікаторів і розглянутих комплексних добавок еквівалентно підвищенню марки цементу на одну ступінь, або зниженню витрат цементу на 14-18%, чи скороченню витрат теплової енергії на 16-25%. Застосування органімінеральних добавок дозволяє скоротити витрати клінкерної складової на 25-30%, що у порівнянні з цементами з мінеральними добавками дозволяє скоротити витрати енергії на 5-10%. З позицій морозостійкості і водонепроникливості, як показують експериментальні дослідження, застосування суперпластифікатору ПФМ-БС дозволяє скоротити витрати цементу для бетону класів $F 150 - F 300$, $W6 - W12$ на 11-18%, ЛСТ, УПБ і ППС - на 8-11%, а УПБ-К, ППС+СНВ, УПБ+ННК - на 16-22%.

При експериментальному дослідженні ефективності обробки компонентів бетонної суміші високовольтним електричним розрядом /ВЕР/ на першому етапі досліджень були одержані експериментально-статистичні моделі впливу Ц/В, вмісту активованої частини цементу / Ca' / і кількості імпульсів обробки / W_a / на рухомість бетонної суміші, міцність бетону при стиску після теплової обробки по стандартизованому режиму і у терміні 28 діб нормального тверднення, а також собівартості в умовних одиницях.

Аналіз одержаних залежностей показав, що найбільш ефективні параметри процесу: вміст активованої частини цементу 20-30% і

кількість імпульсів обробки 250-300. З підвищенням вмісту мінеральних добавок у цементі ефективна кількість імпульсів обробки підвищується. Були виконані також досліді по суміщенню активованої частини цементу з суперпластифікаторами, які показали, що така комплексна модифікація бетону дозволяє підвищити його міцність у 1,6-2 рази, або скоротити витрати цементу на 25-30%, чи скоротити тривалість або температуру теплової обробки у 1,4-1,6 рази.

Аналіз експериментальних даних по обробці високовольтним електричним розрядом 40-60% водної суспензії золошлакової суміші при 300-400 імпульсах показав можливість підвищення міцності бетону на стиск на 20-30%. Суттєві результати підвищення водонепроникливості бетону /майже на два ступеня/ були досягнуті при обробці ВЕР бентоніту у кількості 1-3% від маси цементу. А це еквівалентно зниженню витрат цементу на 10-20%. Цікаві дані були одержані при обробці ВЕР у воді заповнювачів бетону, особливо гравію. Міцність бетону на стиск була підвищена на 7-14%, а на розтяг - на 15-25%.

Узагальнюючи результати цих досліджень, можна зробити висновок, що активація цементу ВЕР еквівалентна підвищенню його марки на одну ступінь, причому найбільший відносний ефект досягається при застосуванні цементів низьких марок, шлако- і золошлакопортландцементу. При цьому підвищення міцності бетону складає 20-30% /в окремих випадках 40-80%/ , морозостійкості і водонепроникливості у 1,5-2 рази.

При експериментальному дослідженні методів ущільнення було встановлено, що поліциклічна вібрація з інтервалом 2-4 с. у попередньо підігрітій до 40⁰С формі дозволяє вилучити з високорухомих і литих бетонних сумішей, що містять ЦАР, 1,5-2,5% повітря. Це дозволяє підвищити міцність бетону на 7-12%. При цьому морозо-

стійкість бетону не тільки не знижується, а й підвищується, що пояснюється зменшенням розмірів і характеру замкнутого порового простору. Дослідженнями тиску 0,04 МПа у процесі теплової обробки з вилученням надлишкової частини води і повітря встановлена можливість підвищення міцності бетону на стиск на 9-18%, а морозостійкості і водонепроникливості - в 1,3-2 рази, що еквівалентно зниженню витрат цементу на 7-15%, або скороченню тривалості теплової обробки на 15-25%.

У процесі досліджень було також встановлено і той факт, що тепла обробка не знижує, як було загальноприйнято, проектні показники міцності, морозостійкості і водонепроникливості бетону, а в ряді випадків, наприклад, на цементі Кам.-Подільського цементного заводу - підвищує.

Системно-структурна концепція і одержані кількісні залежності впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону дозволили перейти до розробки комп'ютерної системи проектування і оперативного регулювання складів бетону у процесі виробництва. Як відомо, усі методики проектування складів бетону, незважаючи на їх розбіжність і наукову обґрунтованість, потребують експериментальної перевірки, яка у багатьох випадках не співпадає з результатами розрахунку. Найчастіше процедура підбору закінчується підгонкою до БНІП 5.01.23-83 і приблизним коригуванням співвідношення піску і щебеню. Тому єдиним вирішенням цієї проблеми є алгоритмізація і комп'ютеризація системи проектування і регулювання на науково обґрунтованій теоретичній і методичній основах. При цьому єдиним методом одержання кількісних залежностей є експериментально-статистичний. У загальному випадку задача вибору складів бетону - вибір співвідношення компо-

нентів, які забезпечують проектні властивості бетонної суміші і бетону при найменших витратах виробництва з урахуванням обмежень на ресурси:

$$R_{4T}^k = \varphi_1 (D_1^4, D_2^4 \dots D_m^4)$$

$$R_u^k = \varphi_2 (D_1^4, D_2^4 \dots D_m^4)$$

$$R_T = \varphi_3 (A_T, Ц/В, R_{4T}^k, K, \alpha, T^{\circ}, \tau)$$

$$R = \varphi_4 (A, Ц/В, R_u^k, K, \alpha, n)$$

$$F = \varphi_5 (A^F, Ц/В, \alpha, D_1, D_2 \dots D_n, n)$$

$$W = \varphi_6 (A^W, Ц/В, \alpha, D_1, D_2 \dots D_n, n)$$

$$B_{\Sigma c} = \varphi_7 (A^y, Ц/В, НГ, \alpha, D_1, D_2 \dots D_n)$$

$$\bar{Ц} = \varphi_8 (A^3, \alpha, Y, П_{ц}, Ц_n, V_{ц})$$

$$\bar{П} = \varphi_9 (A^3, Ц, B_{\Sigma c}, \bar{Ц}, П_{ц}, Ц_n)$$

$$S = S_{ц} \bar{Ц} + S_{цн} \bar{Ц}_n + S_{пн} \bar{П} + S_3 Z + 0,7 S_c B_{\Sigma c} + \sum_{i=1}^n S_i D_i + S_{np}$$

$$Y \geq Y^{\circ}; R_T \geq R_T^{\circ}; R \geq R^{\circ}; F \geq F^{\circ}; W \geq W^{\circ}; Ц \geq Ц^{\circ}; (Ц/В) \geq (Ц/В)^{\circ}; \alpha \geq \alpha^{\circ}$$

$$S \rightarrow S_{min} \quad П_{кге} \neq П_{кге}, \quad (9)$$

де $Y^{\circ}, R_T^{\circ}, R^{\circ}, F^{\circ}, W^{\circ}$ - задані показники рухомості бетонної суміші, міцності бетону після теплової обробки і в проектний термін, морозостійкості і водонепроникливості;

$Ц^{\circ}, (Ц/В)^{\circ}, \alpha^{\circ}$ - обмеження по витраті цементу, Ц/В і співвідношенню піску і щебеню;

S_{np} - витрати на переробку;

S - витрати виробництва;

$П_{кге}$ - показник конструкційно-технологічної енергоємності.

Алгоритм проектування, оперативного регулювання і техніко-економічного аналізу складів бетону наведено на мал. 4. Цей алгоритм у різних варіантах був реалізований на ЕОМ. Результати досліджень були реалізовані у нормативних і методичних документах, на підприємствах будівельної індустрії. На 8 підприємствах, у т.ч. на Кам.-Подільському цементному заводі, Чернівецьких ДБК і ЗЗБК, Червоноградському ЗЗБК були впроваджені розроблені методи оцінки міцності цементу і ефективного співвідношення між піс-

ком і щебенем.

Особливий інтерес і широке впровадження більш як на 100 підприємствах України, Біларусі, Росії, Казахстану, Латвії та інших держав набув запропонований спосіб оцінки морозостійкості і водонепроникливості бетону за опором прониканню повітря / m_c γ . Лабораторно-виробничі дослідження дозволили одержати кількісні залежності впливу цього фактора на морозостійкість і водонепроникливість бетону на середньоалюмінатному портландцементі, гранітному щебені фракцій 5-20 мм і кварцевому піску:

$$F = 300 A^F / [1 + 10^{(0,88 - 0,12 m_c)}] \quad / \text{ IO } /$$

$$W = A^W (0,7 \lg m_c - 0,05), \quad / \text{ II } /$$

а також встановити коефіцієнти для цих залежностей при застосуванні інших матеріалів. Запропонований метод був застосований при натурних обстеженнях багатьох конструкцій на багатьох об'єктах. Але причина, у більшості випадків, низьких показників морозостійкості і водонепроникності, як показали дослідження, зовсім прозаїчна - погане ущільнення бетонної суміші. При цьому дуже сильно вражає неоднорідність цих показників навіть у одній конструкції. Так, при проектних показниках, наприклад, $F 200, W 8$ в одній партії бетону можна одержати показники від $F 50$ до $F 300$ і від $W 2$ до $W 12$. Разом з тим, порушення експлуатаційної придатності конструкції починається саме з слабких місць. Тому, на думку автора, у нормативних документах на морозостійкість і водонепроникність бетону треба впровадити показник дефектного мінімуму

Встановлені закономірності і кількісні залежності впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону були застосовані в нормативних документах і на багатьох підприємствах при проектуванні складів бетону, визначенні норм витрат матеріалів і оперативному регулюванні технологічних процесів. На основі

одержаних даних були розроблені базові склади бетонів для Західного регіону України. Деякі значення коефіцієнтів для їх розрахунку наведені у таблиці.

Таблиця

Портланд-цемент з мінеральними добавками	Щебінь	Пісок	Значення коефіцієнтів у формулах 4,5,6 і алгоритму мал. 4					
			A_T	K_T	A	K	B_0	k_c
Здолбунівський	Віровський гранітний	Коршівський	0,305	-0,76	0,23	-0,5	I56	0,18
Миколаївський	Неполоківський з гравію	Ясинецький	0,305	-0,76	0,23	-0,5	I61	0,19
		Неполоківський	0,31	-0,75	0,235	-0,5	I48	0,16
Кам.-Подільський	Кам.-Подільський вапняковий	Полянський	0,31	-0,75	0,235	-0,5	I52	0,17
	Гніваньський гранітний	Дніпровський	0,31	-0,75	0,235	-0,5	I56	0,18

Результати досліджень по синтезуванню і використанню добавок були застосовані при розробці нормативних документів і більш як на 30 підприємствах України, Беларусі і Росії. Нормативними документами рекомендовані для широкого впровадження, розроблені разом з колективами НДІБК і НДІЗБ бувшого Держбуду СРСР модифікації УПБ, у тому числі УПБ+ННК; УПБ+ННХК, УПБ+кремнегель, а також суперпластифікатор ПФМ-БС, УПБ+НК, ПФС+НН, ПФС+НК. Зокрема, треба відзначити, що з деяких організаційних причин ряд модифікацій УПБ не знайшли широкого впровадження.

Найбільш широке застосування знайшла комплексна добавка ПФМ-БС, яка є аналогом С-3. Ця добавка, ще до розробки технічних умов, з 1981 року успішно застосовується на Червоноградському заводі ЗБК, а з 1988 року в Управлінні будівництва Дністрівського каскаду ГЕС і ГАЕС, Чернівецьких заводі ЗБіЛ і ЦБК, Мозирь-

ському заводі ЗЗБК-12 та багатьох інших підприємствах. Маючи майже такі властивості як і С-3, добавка дешевше відомого суперпластифікатора на 20-30%, легше пристосовується для регулювання рухомості бетонної суміші, а морозостійкість бетону з ПФМ-БС у деяких випадках навіть вища у 1,5 рази. Розроблені і застосовувались також варіанти ПФМ-БС з співвідношення нафталінформальдегідного олігомеру і УПБ 1...2:1. Для застосування у виробництві ВНВ виготовлені окремі партії ПФМ-БС у порошкообразному вигляді.

На ВО "Рівнезалізобетон" майже 12 років успішно застосовувались комплексні добавки УПБ+ННК /НН/ і ПФС+НН, в Державній фірмі "Будівельник Буковини" - ПФС+НН, УПБ-К.

Результати досліджень по активації компонентів бетонної суміші високовольтним електричним розрядом використані при випуску дослідних партій бетону на ВО "Миколаївзалізобетон" і в ЕКБ НДІБК. Дослідно-промислова установка по активації компонентів з 1986 року працює в ЕКБ НДІБК. Дослідно-промисловими випробуваннями було встановлено можливість скорочення витрат цементу марки 400 на 15-20%, або скорочення тривалост. теплової обробки бетону на 20-30%. Дослідами по використанню ВЕР у комплексі з суперпластифікатором СМФ або пластифікатором УПБ-К показана можливість одержання бетону з міцністю при стиску до 80 МПа, при розтягу до 3,5 МПа, морозостійкістю до 500 циклів і водонепроникністю до 2 МПа при витратах цементу марки 400 до 500 кг/м³. Поряд з цим впровадження ВЕР відкриває можливості більш ефективного використання комплексних зв'язуючих з підвищеним вмістом мінеральних добавок, напружуючих синтонів, фібробетонів, нових модифікаторів.

Особлива увага, яка не випадково винесена в окреме питання, приділяється технології високоміцних бетонів. Проблема технології високоміцних бетонів не нова, однак до розробки високоефек-

тивних пластифікаторів і суперпластифікаторів, її вирішення обмежувалось науковими статтями, дисертаціями і випуском дослідних партій конструкцій. Перший досвід масового виготовлення конструкцій з високоміцних бетонів з суперпластифікатором С-3 розпочатий у 1979 році на Червоноградському заводі ЗБК-І і Броварському ЗБК. Виробничий досвід показав можливість масового виготовлення коробчатих настилів, колон, балок і ферм та інших конструкцій з бетону марок 500-700 на високорухомих бетонних сумішах при застосуванні дрібних пісків і цементу марок 400 і 500. У м. Рівне у 1977-1980 роках запроектовано, а у 1980-1982 роках було успішно налагоджено виробництво колон, балок і ферм з бетону марок 500-600 з застосуванням суперпластифікатора СМФ і портландцементу з мінеральними добавками, в т.ч. шлакопортландцементу марок 400 і 500. Досвід цих досліджень згодом поширився і на інші підприємства бувшого СРСР. Французькою фірмою "KREBS" результати досліджень були використані для виготовлення резервуарів з монолітного бетону з міцністю на стиск 60-80 МПа і при розтягу 3,2-4 МПа на цементах марок 500 і 600 при застосуванні дрібних пісків, суперпластифікаторів С-3 і ПФМ-ВС. Інтересно, що у спільних дослідженнях, по розробленій методиці, пустотність заповнювача в конструкції моделювалась у ємності між двома металевими бочками, а співвідношення між піском і щебенем визначалось не в залежності від об'єму цементної пасти, а від водовмісту і рухомості бетонної суміші. В усіх промислових впровадженнях використовувались встановлені закономірності і кількісні залежності. Багаторічний досвід переконливо довів можливість масового виготовлення конструкцій з високоміцних бетонів.

Розроблені алгоритми проектування, оперативного регулювання і техніко-економічного аналізу складів бетонів рекомендовані для широкого впровадження НТР бувшого Мінбуду УРСР і найширше викорис-

тання на багатьох підприємствах. Виробничий досвід засвідчив, що при широкій номенклатурі виробів, яка сягає до 200 найменувань, впоратися класичними методами, навіть з підборами складів бетону, неможливо, не говорячи вже про ефективне регулювання технологічних процесів і вибір найкращих рішень. Діючі методи управління технологічними процесами базуються на інтуїції керівника лабораторії і, м^якю кажучи, не вільні від помилок, які у перекладі на ресурси становлять щонайменше 3-5% собівартості бетону. Впровадження запропонованої системи, хоч і не в повному вигляді, показало дієздатність розроблених математичних моделей для умов виробництва і реальні можливості технологічного регулювання.

Розроблена методика техніко-економічного аналізу, яка знайшла втілення у ряді нормативно-методичних документів. За цією методикою економічний ефект розраховують при співставленні зрівнюваних варіантів по обсягу виробництва, властивостям матеріалів, бетонної суміші і бетону, фактору часу, соціальних факторах, екологічним умовам. Зважаючи на нестабільність цін, був використаний такий прийом: за базову ціну у 1 одиницю прийнято портландцемент з мінеральними добавками марки 400.

Економічний ефект від впровадження модифікаторів бетону змінювався в залежності від напрямків застосування. Так, при впровадженні суперпластифікатора ПМ-БС для виготовлення коробчатих настилів з бетонів марок 400-600 він складав 0,5-0,6 ум. од./м³, а колон, стріхових і мостових балок і ферм з бетону марок 500-700 - 0,18-0,25, у касетній технології - 0,05-0,12, при будівництві водоводів - 0,2-0,3. Щодо плит, балок, блоків та інших технологічних конструкцій з бетону класів В10-В20, то застосування ПМ-БС не дає економічного ефекту. Модифікатор ПМ-БС був впроваджений у виробництво високоміцних бетонів на 8 підприємствах.

Застосування комплексних добавок УПБ+ННК, УПБ+НК, ПФС+НК тільки у ВО "Рівнезалізобетон" за 12 років дозволило знизити витрати цементу більш як на 8 тис.т і теплової енергії на 750-1000 МДж. З 1987 до 1993 року на Чернівецькому МДП "Будіндустрія" завдяки застосуванню модифікаторів УПБ-К і ПФС+НН, ПФС + "Нітродал" зекономлено більш як 4 тис.т цементу, підвищено якість бетонної суміші.

Узагальнюючи результати впроваджень, можна зробити висновок, що тільки застосування розроблених по роботі добавок давало Україні економічний ефект більш як 12 тис. умов.од., тобто 7 млрд. 200 млн. крб. у цінах квітня 1994 р. на рік. Економічний ефект у Білорусі, Росії не підраховувався, але по оціночним показникам він у цих державах разом не менший.

Аналіз економічної ефективності розрядно-імпульсної технології виконувався з позицій визначення оптимальних параметрів процесу і перспектив розвитку. Доведено, що найефективніші параметри це - вміст активованої частини цементу 25-30% і кількість імпульсів 250-300. Економія цементу при цьому становить 10-15%, або теплової енергії - 20-25%.

Визначення економічної ефективності запропонованих методів ущільнення і теплової обробки бетону не викликає великих труднощів. Економічний ефект від застосування поліциклічного вібрування бетонної суміші у попередньо підігрітих формах дозволяє скоротити витрати на 0,02-0,05 ум.од. на 1м^3 бетону. Що-до теплової обробки під тиском, то економічний ефект від застосування способу становить 0,03-0,06 ум.од. на 1м^3 бетону класів В15-В25 і 0,06-0,09 ум.од. - для класів $F 100 - F 300$

Найбільший інтерес викликає застосування системно-структурного підходу для економічного аналізу регіональних і народно-господарських проблем. Вирішення цих питань в умовах ринку кла-

сичними методами і без застосування ЕОМ практично неможливо. Таке розв'язання проблеми можливе тільки на алгоритмічному рівні.

Для вирішення задач перспектив широкого впровадження добавки ПФМ-БС застосовано одержані кількісні залежності впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону і алгоритм, наведений на мал. 4 при різних цінах і співвідношеннях нафталінформальдегідного олігомеру і УПБ. Розрахунки на ЕОМ показують, що для бетонних сумішей класів ПЗ-П4 найбільш ефективний варіант співвідношення нафталінформальдегідного олігомеру для бетонів класів В20-В30 з 70%-ною відпускнув міцністю 2:1, для бетонів класів В25 і вище, а також при відпускнув міцності більш як 80% - 3:1. Так, для Донбасу, Біларусі і районів Уралу найефективніше співвідношення 3:1, а для Буковини і Молдови - 2:1, в деяких випадках, - 1:1. Аналогічні розрахунки для інших добавок показують, що у Західних регіонах вигідніше застосовувати добавку УПБ і модифікатори на її основі, ніж ПФС.

Розгляд з економічних позицій структури виробництва цементів показав, що для України, де дальність транспортування невелика, найвигідніше масове /до 80%/ виробництво портландцементу з мінеральними добавками, шлакопортландцементу і золошлакопортландцементу марок 300 і 400. Що-до портландцементу марок 500 і 600 і сульфатостійкого портландцементу, то їх потреба по народному господарству становить не більше 20%. Причому експериментальними дослідженнями і техніко-економічними розрахунками доведено, що при застосуванні ефективних пластифікаторів і суперпластифікаторів співвідношення активності цементу і проектної міцності бетону на стиск становить не 1,5-2, як загальноприйнято, а 0,8-1,4.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На підставі узагальнення і систематизації досліджень розроблена класифікація і встановлені основні напрямки ресурсозаощадження і модифікації бетону за функціональним призначенням, техніко-економічним і соціальним ефектами.

2. Комплексний підхід до проблеми ресурсозаощадження базується на запропонованій системно-структурній концепції технології, яка полягає у розгляданні бетону як багатопланової і пов'язаної між собою ієрархії системно-структурних рівнів і критеріїв ефективності від зв'язуючого до будівельно-експлуатаційних рівнів, що формуються, трансформуються і розвиваються по принципу "система в систему" завдяки модифікації та енергетичному спрямуванню і описуються багаторівневою системою кількісних залежностей і їх зв'язків; критеріями ефективності такої системи є витрати виробництва і показник конструкційно-технологічної енергоємності.

3. Вірогідність, об'єктивність і оперативна оцінка результатів досліджень забезпечуються удосконаленням методики і технології експерименту, зокрема: визначенням міцності зв'язуючого при постійних значеннях В/Ц, об'єму цементно-піщаного розчину та водопотреби залповнявачів при такому їх співвідношенні, яке дає мінімальну водопотребу бетонної суміші, визначенням пустотності залповнявачів у ємності, що моделює переріз конструкції, співвідношення між піском і щебенем /або гравієм/ в залежності від їх гранулометричного складу за абсолютним об'ємом, водовмісту і ру-

хомості бетонної суміші, експрес-контролем морозостійкості і водонепроникності бетону по показнику опору проходженню повітря, аналізом конструкційно-технологічної енергоємності і витрат виробництва у порівнянних даних по властивостях компонентів, якості бетону, цінам, обсягам виробництва, екологічним і соціальним наслідкам.

4. На базі теоретичного аналізу і експериментальних даних встановлено вплив міцності зв'язуючого на розтяг і методів визначення міцності цементу на міцність бетону на стиск.

5. Аналізуючи формування структури і властивостей бетону, як процес складної детермінації переходу одного системно-структурного рівня в інший, початковою стадією і внутрішнім джерелом руху яких є парна взаємодія між гідратованими частинками в'язуючого, висунута гіпотеза про можливість направлення і регулювання процесу за рахунок високоактивних компонентів у вигляді модифікаторів, які містять "оголені" зернинки в'язуючого.

6. Запропонована активація процесів структуроутворення за рахунок обробки компонентів бетонної суміші у водному розчині ПАВ високовольтним електричним розрядом, який викликає механічну ерозію частинок, гомолітичне розщеплення водного розчину з виникненням продуктів рекомбінації H_2 і H_2O_2 , формування активних центрів і зародків нових фаз у зв'язуючому по дислокаційному, плазмо-хімічному, газоконденсаційному, тепловому і радіаційно-квантовому механізмам.

7. На базі експериментальних досліджень розроблені комплексні ресурсозберігаючі модифікатори бетону ПМ-БС, УПБ+ННК /ННХК, НК/, УПБ-Г, УПБ-К, ПФС+НН /"Нітродал"/, ПФС+СНВ та ін., встановлені ряди ефективності добавок в залежності від умов тверднення бетону, зокрема встановлена зміна показників ефективності ЛСТ від негативного при тепловій обробці бетону на цементах III групи ефективності при пропарюванні до позитивного для цементів I групи і нормальних умов

твердження.

8. Експериментальними дослідженнями доведений високий ресурсозберігаючий ефект активації ВЕР цементу, бентоніту, золошлакових сумішей у водному розчині ЛСТ при вмісті активованої частини цементу до 30%, бентоніту до 4% і золошлакової суміші до 40% від загальної маси цементу, суміщення активованої частини цементу з суперпластифікаторами, показана реальна можливість зниження витрат цементу на 18-22%, теплової енергії на 22-30%, одержання високоміцних і високоморозостійких бетонів /класів В60, F 300, W 12 і вище/.

9. На базі встановлених закономірностей і системно-структурної концепції отримані адаптивні і дієздатні кількісні залежності впливу основних факторів /у т.ч. добавок/ на водопотребу бетонної суміші, міцність, морозостійкість і водонепроникність бетону; доведена можливість підвищення якості бетону і зниження витрат цементу на 8-12% при застосуванні запропонованого способу поліциклічного вібрування високорухомих і литих бетонних сумішей у попередньо підігрітих до 40°C формах, а також зниження витрат цементу і теплової енергії на 10-25% за рахунок теплової обробки бетону при тиску 0,2-1,2 МПа з одночасним вилученням надлишкової частини води і повітря; встановлено, що теплова обробка не знижує, а в деяких випадках навіть підвищує проектну міцність, морозостійкість і водонепроникність бетону; розроблена дієздатна система проектування, автоматизованого управління і техніко-економічного аналізу складів бетону, яка відрізняється репродуктивністю експериментальних даних, адаптивністю і частковим зворотнім зв'язком.

10. Виробничий досвід підтверджує результати теоретичних і експериментальних досліджень, показує реальну можливість масового випуску конструкцій з високорухомих і литих бетонних сумішей міцністю на стиск до 80 МПа, на розтяг до 4 МПа, морозостійкістю до 500 циклів, водонепроникністю до 1,2 МПа з цементів марок 400, 500

і суперпластифікатора ПФМ-БС, дієздатність розроблених кількісних залежностей впливу основних факторів на властивості бетонної суміші і бетону, ефективність розроблених модифікаторів, способів активації компонентів, ущільнення і теплової обробки бетону.

II. Системно-структурна концепція, встановлені нові закономірності і кількісні залежності дозволяють за допомогою розробленого алгоритму на ЕОМ вирішувати багатопланові техніко-економічні народногосподарські і регіональні задачі визначення ефективної структури виробництва цементів, виробництва і застосування різних модифікаторів бетону, конструкційно-технологічної енергоємності конструкцій, будівель і споруд, зокрема, доведено, що для України найбільш вигідно масове /до 80%/ виробництво портландцементу з мінеральними добавками, шлакопортландцементу і золошлакопортландцементу марок 300 і 400 і що при застосуванні ефективних пластифікаторів і суперпластифікаторів найефективніше відношення активності цементу до проектної міцності бетону на стиск - 0,8-1,4, обґрунтована ефективність застосування модифікатора ПФМ-БС у різних співвідношеннях компонентів в залежності від властивостей бетону і регіону впровадження.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ У

монографіях:

1. Файнер М.Ш. Ресурсосберегающая модификация бетона. - Черновцы: Прут, 1993. - 152 с.
2. Файнер М.Ш. Введение в математическое моделирование технологии бетона. - Львов: Свит, 1993. - 240 с.
3. Файнер М.Ш. Теоретические и экспериментальные основы разрядно-импульсной технологии бетона. - К.: УкрИНТЭИ, 1993.-81с.

оглядовій інформації :

Файнер М.Ш. Производство высокопрочных бетонов на предприятиях строительной индустрии //Передовой опыт в строительстве. Сер. Ш. Строительная индустрия. Экспресс-информация. - М., 1985, вып. 8. - С. 1-24.

научковых статтях:

1. Файнер М.Ш. Экономико-математический анализ производства сборного железобетона //Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1978. - № 5. - С. 79-84.
2. Файнер М.Ш. К вопросу о критериях и принципах оптимизации режимов тепловой обработки бетона //Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1979. - № 10. - С. 72-78.
3. Иванов Ф.М., Батраков В.Г., Силина Е.С., Файнер М.Ш. Суперпластификатор для получения высокопрочных бетонов //Промышленное строительство и инженерные сооружения. - 1980. - № 4. - С. 34-35.
4. Файнер М.Ш. Анализ эффективности высокопрочных бетонов с помощью ЭВМ. Реферативная информация. Автоматизированные системы управления в строительстве, вып. 3. - М., 1981. - С. 8-10
5. Сытник Н.И., Файнер М.Ш., Андрианова Г.С. и др. Эффективная добавка к бетонным смесям и строительным растворам //Промышленное строительство и инженерные сооружения. - 1982. - № 2. - С. 12.
6. Файнер М.Ш., Тимошук Н.С., Кошелева Л.И. и др. Опыт литьевого формирования конструкций из высокопрочных бетонов //Исследование и применение бетонов с суперпластификаторами. - М.: НИИЖБ, 1982. - С. 36-39.
7. Цыганков И.И., Файнер М.Ш. Технология и экономика изготовления железобетонных изделий из литых бетонных смесей //Технология формирования сборного железобетона /Материалы семинара/. - М.: МДНТИ, 1982. - С. 109-113.
8. Файнер М.Ш. Техничко-экономический анализ добавок к бетонам //Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1983. - № 3. - С. 73-77.
9. Файнер М.Ш. Новые добавки к высокопрочным бетонам //Промышленное строительство и инженерные сооружения. - 1984. - № 3. - С. 30-31.
10. Файнер М.Ш. Хімізація бетону //Сільське будівництво.-

1985. - № 1. - С. 16-17.

11. Файнер М.Ш. Эффективность химизации бетона //Строительные материалы и конструкции. - 1985. - № 4. - С. 11-12.

12. Батраков В.Г., Силина Е.С., Файнер М.Ш. и др. Высокопрочные бетоны на шлакопортландцементе //Строительные материалы и конструкции. - 1985. - № 3. - С. 15-16.

13. Сытник Н.И., Файнер М.Ш., Андрианова Г.С. Высокопрочные гидротехнические бетоны //Строительные материалы и конструкции. - 1986. - № 3. - С. 20-21.

14. Файнер М.Ш. Анализ энергоемкости разрядно-импульсной технологии обработки бетонной смеси //Энергетическое строительство. - 1986. - № 7. - С. 4-6.

15. Файнер М.Ш. Исследование конструкционно-технологической энергоемкости бетона и железобетона //Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1986. - № 11. - С. 49-52.

16. Файнер М.Ш. Энергоемкость высокопрочных бетонов //Бетон и железобетон. - 1986. - № 11. - С. 25-26.

17. Файнер М.Ш. Эффективные способы получения высокопрочных бетонов //Энергетическое строительство. - 1986. - № 12. - С. 34-35.

18. Файнер М.Ш. Разрядно-импульсная активация вяжущих в химически активной среде //Электронная обработка материалов. - 1987. - № 1. - С. 80-82.

19. Файнер М.Ш. Экономическая эффективность разрядно-импульсной технологии //Строительные материалы и конструкции. - 1987. - № 4. - С. 31.

20. Файнер М.Ш. Системно-структурный подход к анализу производства сборного железобетона //Известия вузов. Строительство и архитектура. - 1988. - № 6. - С. 78-81.

21. Поедашев Ю.Н., Шульгин В.В., Файнер М.Ш. и др. Разрядно-импульсная технология бетона //Бетон и железобетон. - Ресурсо- и энергосберегающие конструкции и технологии /Материалы к X Всесоюзной конференции по бетону и железобетону, Казань, октябрь, 1988 г. - К.:НИИСК, 1988. - С. 316-319. ДСП.

22. Батраков В.Г., Фаликман В.Р., Файнер М.Ш. и др. Суперпластификатор СМФ //Строительные материалы и конструкции. - 1988, № 2. - С. 10-11.

23. Зельцман Е.И., Файнер М.Ш., Черненко Л.А. и др. Опыт применения комплексных добавок суперпластификатора //Строительные материалы и конструкции. - 1989. - № 3. - С. 29-30.

24. Файнер М.Ш. Методологические проблемы бетоноведения //Бетон и железобетон. - 1989. - № 8. - С. 28-29.
25. Файнер М.Ш. Снижение энергоемкости производства бетона //Промышленное строительство. - 1989. - № 12. - С. 41-42.
26. Файнер М.Ш. Регулирование расхода материалов для приготовления бетонов //Строительные материалы и конструкции. - 1990. - № 1. - С. 18.
27. Файнер М.Ш. Рациональные направления применения добавок к бетонам //Строительные материалы и конструкции. - 1990. - № 3. - С. 23-24.
28. Батраков В.Г., Файнер М.Ш. Ресурсосберегающий эффект модификаторов бетона //Бетон и железобетон. - 1991. - №3.-С.3-5.
29. Поедавшев Д.Н., Сытник Н.И., Шульгин В.В., Пархоменко Н.М., Файнер М.Ш. Разрядно-импульсная активация компонентов бетонной смеси //Бетоны и конструкции из новых материалов. - К.: НИИСК, 1991. - С. 74-82.
30. Файнер М.Ш. Концепция оптимального проектирования бетона //Бетон и железобетон. - 1992. - № 1. - С. 15-17.
31. Батраков В.Г., Файнер М.Ш. Техничко-экономические основы модификации структуры бетона //Компьютерный поиск оптимальных модификаторов качества компонентов /Тезисы докладов научно-технического семинара 21-23 апреля 1992 г., г. Одесса/. - К.: Общ-во "Знание", 1992. - С. 5-6.
32. Файнер М.Ш. Теоретические основы физико-химической модификации бетона //Ресурсосберегающие модификаторы бетона /Тезисы докладов Международного научно-производственного симпозиума 29.09-3.10.1992 г., г. Черновцы, - Черновцы: Прут, 1992. - С. 25-30.
33. Файнер М.Ш. Системно-структурный подход к модификации бетона //Химические добавки и их применение в технологии производства сборного железобетона /Материалы семинара/. - М.: ЦДЗ, 1992. - С. 96-100.
34. Файнер М.Ш. Структурно-логическая схема описания цементных композитов //Экспериментально-статистическое моделирование в компьютерном материаловедении /Тезисы докладов Международного семинара 12-14 мая 1993 г., г. Одесса. - К.: Общ-во "Знание", 1993. - С. 12.
35. Файнер М.Ш. Экспериментально-статистические модели в системе оперативного управления технологическими процессами //Принятие рецептурно-технологических решений по экспериментально-

статистическим моделям /Тезисы докладов Межгосударственного семинара 20-21 апреля 1994 г., г. Одесса. - МИА, Одесса, 1994. - С.21.

проектних, нормативних і нормативно-методичних документах:

1. Раздел "Управление качеством и эффективностью производства высокопрочных бетонов" технологической части проекта Ровенского завода конструкций из высокопрочных бетонов. - Севастополь, ОПИ-3, 1981.

2. Рекомендации по применению суперпластификатора "Разжижитель СМБ" для изготовления высокопрочных бетонов. - НИИЖБ, "Укроргтехстрой". - К., 1984. - 51 с.

3. Технические условия на технологию изготовления конструкций из высокопрочных бетонов для строительства резервуаров по проекту французской фирмы "KREBS", ВСН 10-01/Главвостройпромстрой. - Львов-Пария, 1984. - 59 с.

4. Рекомендации по технико-экономической оценке применения добавок в бетоне. - М.: НИИЖБ, 1985. - 81 с.

5. Применение меласной упавленной последрожевой барды в качестве добавки в бетон /РСН 279-86/Госстрой УССР. - К., 1986. - 17 с.

6. Технология изготовления сборных железобетонных конструкций из высокопрочных бетонов /РСН 311-86/Госстрой УССР. - К., 1986. - 36 с.

7. Рекомендации по применению добавок суперпластификаторов в производстве сборного и монолитного железобетона. - М.: НИИЖБ, 1987. - 96 с.

8. Рекомендации по технологии изготовления изделий и конструкций из высокопрочных бетонов. - М.: НИИЖБ, 1987. - 47 с.

9. Технические условия ТУ 563/10.18-0334797-2-90. Модификатор бетона комплексный ПФМ-БС. - 9 с.

10. Рекомендации по рациональному применению цемента Кам.-Подольского цементного завода для изготовления бетонных и железобетонных изделий и конструкций. - Кам.-Подольский, 1991. - 24 с.

захищені охоронними документами:

1. Авторское свидетельство СССР № 939419. Комплексная добавка для бетонной смеси. - М., Кл.³ С04В 13/24, 22.12.1980, БИ № 24, 1982 /у співавторстві з В.В. Ратіновим, М.І.Ситником та ін./

2. Авторское свидетельство СССР № 975643. Строительный раствор. - М., Кл.³ С04В 13/24, 24.04.1981, БИ № 43, 1982 /у співавторстві з М.І.Ситником, Г.С.Андріановою, Т.В.Ляшенко/.

3. Патент СССР № 981297. Способ изготовления бетонных изделий. - М., Кл.³ С04В 41/30, 15.07.1980, БИ № 46, 1982.

4. Патент СССР № 1072392. Способ приготовления бетонной смеси. - С04В 15/00, 18.02.1981, ДСП.

5. Патент СССР № 1121911. Способ приготовления бетонной смеси. - С04В 15/00, 13/20, 30.03.1983, ДСП.

6. Авторское свидетельство СССР № 1146972. Способ приготовления комплексной добавки для цементно-бетонной смеси. - С04В 24/18, 20.04.1983, ДСП /у співавторстві з Н.М. Буденковою, С.В. Глазковой та ін./.

7. Авторское свидетельство СССР № 1184161. Способ изготовления строительных изделий. - С04В 41/30, В 28 В 21/14, 4.04.1984, ДСП /у співавторстві з Л.О. Малініною, М.М.Купріяновим/.

8. Авторское свидетельство СССР № 1189841. Способ приготовления комплексной добавки для цементно-бетонной смеси. - С04В 24/18, 28.10.1983, БИ № 41, 1985 /у співавторстві з В.Б. Ратіновим, І.М.Грушко та ін./.

9. Патент СССР № 1497980. Способ приготовления бетонной смеси. - С04В 40/00, 7.08.1987, ДСП.

10. Авторское свидетельство СССР № 1540210. Способ приготовления комплексной добавки для бетонной смеси. - С04В 24/18, 16.09.1987, ДСП /у співавторстві з М.І.Ситником, С.В.Глазковой, М.В.Гакен, М.О.Кириченко, М.І.Ліптугов та ін./.

11. Авторское свидетельство СССР № 1564135. Вяжущее для теплоизоляционных бетонов. - С04В 7/14, 22/04, 28.03.1988, БИ № 18, 1990 /у співавторстві з М.І.Ліптугов, М.В.Гордіцею та ін./.

12. Авторское свидетельство СССР № 1701707. Способ приготовления бетонной смеси. - С04В 40/00, 11.08.1987, БИ № 48, 1991.

13. Патент СССР № 1785573. Способ определения водопотребности заполнителей. - G01N 33/38, 25.12.1990, БИ № 48, 1992.

14. Патент РФ по заявке на изобретение № 4721344/33 /058320/ Способ определения прочности цементов. - G01N 33/38, С04В 28/02, 25.01.1989.

15. Патент РФ по заявке на изобретение № 4910161/33 /013426/ Способ определения расхода мелкого и крупного заполнителя в бетонной смеси. - С04В 28/00, 12.02.1991.

M. A. B. S. I. P. T.

Підписано до друку 29.06.94 . Формат 60 x 84/16. Друк офсет-
ний, папір друкарський. Ум.-друк. арк. 2. Тираж 101 прим. Замов-
лення № 561.

Чернівецький ЦНТЕІ. 274000 м. Чернівці, вул. Університетська, 23.

454234

AB 31.023

AB 31.023