

**Харківська державна академія залізничного транспорту**

**ВОЗНЕНКО АНАТОЛІЙ ДМИТРОВИЧ**

УДК 69: 666.97.035.5

**УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ТВЕРДІННЯ БЕТОНІВ  
ДЛЯ ОБ`ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**Автореферат дисертації на здобуття  
наукового ступеня кандидата технічних наук**

Харків – 2002

## **Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана на кафедрі “Реконструкція та експлуатація залізниць і споруд” Київського університету економіки і технологій транспорту Міністерства транспорту України.

## **Науковий керівник**

- кандидат технічних наук, доцент Кутах Олександр Петрович, ректор Київського університету економіки і технологій транспорту.

## **Офіційні опоненти:**

- доктор технічних наук, професор Чистяков Валерій Васильович, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри будівельних матеріалів;
- кандидат технічних наук, доцент Калінін Олег Анатолійович, Харківська державна академія залізничного транспорту, завідувачий галузевою науково-дослідною лабораторією підрейкових основ та спеціалізованого бетону кафедри будівельних матеріалів, конструкцій та споруд.

**Провідна установа** – Харківський національний автомобільно-дорожній технічний університет Міністерства освіти та науки України, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів.

Захист відбудеться “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2002 р. о \_\_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою : 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий “\_\_\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2002 р.

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради, кандидат технічних

наук, доцент

\_\_\_\_\_ Г.Л.Ватуля

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Вирішення задач підвищення ефективності виробництва залізобетонних виробів транспортного призначення на підприємствах, що діють у системі «Укрзалізниці», спрямовано на удосконалення технологічних режимів та зменшення енерговитрат за рахунок освоєння енергозберігаючих технологій. Виникає потреба гнучкого та оперативного регулювання та коректування складів та режимів твердіння бетонів, що забезпечують необхідні показники властивостей, якості та економічності.

Досвід освоєння подібних підходів у даний період показує доцільність використання доступних та ефективних хімічних добавок – модифікаторів властивостей бетону. Саме поняття «ефективність» має розглядатися в комплексі хіміко-термічних впливів на виріб, що твердіє, з урахуванням найважливіших технологічних факторів та параметрів. До їхнього числа насамперед відносяться тривалість твердіння, параметри тепло- та масопереносу, в т.ч. градієнти температури та вологості, що формують температурно-вологісні поля у виробках. Особливе значення при цьому набуває урахування внеску внутрішніх і зовнішніх джерел тепла в енергетичний баланс твердіння в залежності від часу, тривалості та рівня прикладання теплових впливів для зниження негативного впливу градієнтів. Оцінка вищенаведених параметрів, моделювання температурно-вологісних градієнтів і полів, що розвиваються у бетоні, відносяться до складнорозв'язуваних задач бетонознавства. Використання в цих цілях сучасних дослідницьких засобів, можливостей комп'ютерного матеріалознавства та інформаційного підходу наближає поставлену мету – знизити матеріальні та енергетичні витрати в технології залізобетонних виробів. Одночасно необхідно засвоїти сучасні способи ведення лабораторно-технологічної документації, розробити інформаційно-довідкову систему для підбору та коректування складів бетону з добавками, що сприяють, крім скорочення ресурсоемкості, забезпеченню заданих властивостей бетону.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконувалась відповідно до рішень “Укрзалізниці” Міністерства

транспорту України по впровадженню у виробництво ресурсозберігаючих технологій у відповідності з “Програмою енергозбереження на 1996-2010рр.”, затвердженою рішенням Техніко-економічної ради “Укрзалізниці” від 24 червня 1996р.

Мета дослідження. Підвищення ефективності технології залізобетонних виробів транспортного призначення в умовах діючого підприємства за рахунок удосконалення складів та режимів твердіння бетону на основі кількісної оцінки і урахування узагальненого температурно-вологісного фактору в ході тепловологісної обробки.

#### **Задачі досліджень:**

- на основі аналізу літературних джерел оцінити можливість регулювання параметрів температури та вологості, а також їх роль для забезпечення заданих властивостей бетону при його прискореному твердінні;
- розробити методику, моделі розрахунку та прогнозу температурно-вологісних градієнтів, а також прилад виміру параметрів вологості середовища при твердінні ЗБВ в умовах ТВО;
- дослідження впливу підвищених температур, вологості та хімічних домішок на кінетику тепловиділення, формування структури цементного каменю і фізико-механічні властивості бетону;
- на основі прогнозної оцінки температурно-вологісних градієнтів при прискореному твердінні бетону обґрунтувати ефективні ресурсозберігаючі технологічні режими вироблення ЗБВ транспортного призначення.

**Об’єктом досліджень** є процеси прискореного твердіння цементів і бетонів та явища, що їх супроводжують.

**Предмет дослідження** – закономірності виміру параметрів температури і вологості в процесі прискореного твердіння.

**Методи досліджень.** Для реалізації мети, що поставлена, були застосовані методи ізотермічної та скануючої калориметрії, метод оцінки вологості середовища з вимірником вологості на основі гігрометричного датчика, а також

стандартні методи фізико-механічних випробувань властивостей цементу, бетонних сумішей та бетонів.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- з урахуванням особливостей зміни вологості пароповітряного середовища при твердінні бетону в умовах ТВО розроблено метод оцінки та датчик виміру вологості;
- обґрунтована кількісна оцінка урахування впливу термо-вологісних градієнтів у єдиному комплексі, названому узагальненим F-фактором, запропонована модель розрахунку його впливу;
- розроблена та реалізована методика моделювання та розрахунку температурно-вологісних полів у залізобетонних виробках при підвищених температурах.

#### **Практичне значення отриманих результатів:**

- запропоновано новий підхід до визначення енергозберігаючих режимів твердіння залізобетонних виробів на основі оперативного регулювання складів бетону та урахування температурно-вологісних градієнтів із застосуванням комп'ютерної техніки;
- на Київському заводі залізобетонних конструкцій Південно-Західної залізниці “Укрзалізниці” впроваджено ресурсозберігаючі технологічні рішення при виготовленні залізобетонних виробів – фундаментів опор контактної мережі, бортових балок та рамних конструкцій платформ.

#### **Особистий внесок здобувача**

1. На основі проведеного аналізу науково-технічної літератури обґрунтована доцільність використання сформульованого поняття F – фактор, як функції температурно-вологісних градієнтів.
2. Розроблені гігromетричний датчик вологості пароповітряного середовища та процедура вимірювань в теплових агрегатах.
3. Виконані експериментальні дослідження температурно-вологісних полів з обробкою та аналізом результатів.
4. Розроблена методика моделювання і розрахунку температурно-вологісних полів в залізобетоні.

У публікаціях із співавторами здобувачем виконано наступне: у [1] запропоновані шляхи модифікації ЛСТ з метою зменшення їх заповільнюючої дії на твердіння бетону; у [2] розроблено алгоритм розрахунку розігріву пропарювальної камери та розраховано коефіцієнт, що характеризує технологічний процес пропарювання для відповідних умов; у [3] виконанні розрахунки по підбору складів бетонних сумішів в залежності від характеристик їх компонентів; у [4] розраховані коефіцієнти поперечних деформацій для бетону після порушення його суцільності; у [7] розроблено алгоритм розрахунку температурних полів, температурного та вологісного градієнту; у [9] для конструкцій транспортного призначення виконанні розрахунки кількісного значення F-фактора для різних режимів ТВО; у [10] проведено аналіз впливу вологості пароповітряного середовища на різних етапах ТВО на властивості бетону; у [11] сформовані шляхи використання ЕОМ для оптимізації термообробки бетону; у [12] запропонована модель комплексного урахування узагальненого F-фактору і методика його розрахунку;

**Апробація результатів дослідження.** Результати досліджень доповідались та обговорювались на таких семінарах та конференціях: «Технические и социальные факторы прогресса на железнодорожном транспорте», Киев, 1991 г., «Физико-химические проблемы строительного материаловедения», Харьков, 1998 г., «Добавки в бетон. Система «Релаксол», Запорожье, 1999 г., 40-м международном семинаре по моделированию и оптимизации композитов, Одесса, 2001 г., науково-практичних семінарах кафедри РЕЗіС Київського інституту залізничного транспорту ХарДАЗТ у 1998 - 2001 рр., семінару по апробації кандидатських і докторських дисертацій при Харківській державній академії залізничного транспорту 21 листопада 2001 р.

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць.

### **Структура та обсяг роботи**

Робота складається із вступу, основної частини (шість розділів), основних висновків, списку використаних літературних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи складає 155 стор., з яких 144 стор. основного тексту, 59 рисунків, 19

таблиць, список використаних джерел з 127 найменувань на 11 стор., а також додатків на 16 стор.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, наведено основні наукові результати, які отримав автор, відображено їх практичне значення.

**Перший розділ** дисертації присвячено постановці обраного напрямку досліджень. Виконано аналіз можливостей удосконалення технології залізобетонних виробів транспортного призначення в умовах стабільно діючого підприємства. Роботами С.В.Шестоперова, Ф.М.Іванова, О.П.Мчедлова-Петросяна, О.О.Старосельського та інш. показано, що умови забезпечення заданих властивостей таких бетонів мають дотримуватися при урахуванні комплексу технологічних факторів, що діють на ранніх стадіях прискореного твердіння в умовах теплової обробки залізобетонних виробів. До числа таких факторів насамперед віднесені температура та вологість середовищ, у яких твердіють залізобетонні вироби (С.О.Миронов, Л.О.Малініна, О.С.Шейкін). Зміни температурно – вологісних градієнтів при прискореному твердінні обумовлюють значні коливання в фазовому складі та структурі цементного каменю і бетону, знижуючи характеристики міцності, стійкості та довговічності (Л.О.Кайсер, І.М.Грушко, В.Н.Пунагін та ін.). Багато уваги питанню підвищення ефективності ТВО за рахунок регулювання температури та вологості в пропарювальних камерах приділялося в роботах кафедри “Будівельні матеріали”, ХарДАЗТ (Ю.Л.Воробйов, Л.О.Заворін, Ю.П.Лібенко, П.О.Мельниченко, В.В.Валявський). В цих роботах розкрито механізми змін параметрів вологості та їхні впливи на однорідність бетону.

Підкреслюється складність рішення задач кількісної оцінки температурно-вологісних градієнтів під впливом зовнішніх і внутрішніх (екзотермія) теплових впливів. Аналіз можливостей регулювання та зниження їхнього негативного впливу показує високу ефективність хімічних добавок-регуляторів водовмісту та тепловиділення, урахування внеску якого в загальний енергетичний баланс

бетону, що твердіє, також виявляється дуже результативним (І.Б.Заседателев, О.В.Ушеров-Маршак).

**У другому розділі** обґрунтована методологічна основа реалізації поставленої мети, застосування сучасних засобів виміру показників швидкості та повноти процесів твердіння, стану пароповітряного середовища на основі методів калориметрії, вологометрії та ін.

Результати лабораторного контролю і фізико-механічних випробувань характеристик компонентів бетону представлені у виді фрагментів інформаційно-довідкової комп'ютерної системи банку даних (ІДС) – каталогів «Цемент», «Заповнювачі» та «Добавки». Передбачаються можливості використання інформації БД для підбору та оперативного коректування складів та режимів твердіння бетону.

Робота виконана на таких компонентах бетону: цементи - Кам'янець-Подільського та Криворізького цементних заводів, що відрізняються вмістом  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ; крупний заповнювач – щебінь гранітний Коростенського та Мокрянського кар'єрів фракції 5-20 мм; дрібний заповнювач – пісок з модулем крупності 2,55; хімічні добавки вітчизняного виробництва – УПБ (упарена післядріжджова меласна барда), ЛСТ та «Релаксол» – комплексний модифікатор водознижуючої та прискорюючої твердіння дії.

Використано метод диференціальної калориметрії для проведення аналізу кінетики тепловиділення на ранніх стадіях твердіння цементу при підвищених температурах у присутності добавок. Методом термoporометрії проведений аналіз мікропористості та форм зв'язку води в цементному камені, що твердіє.



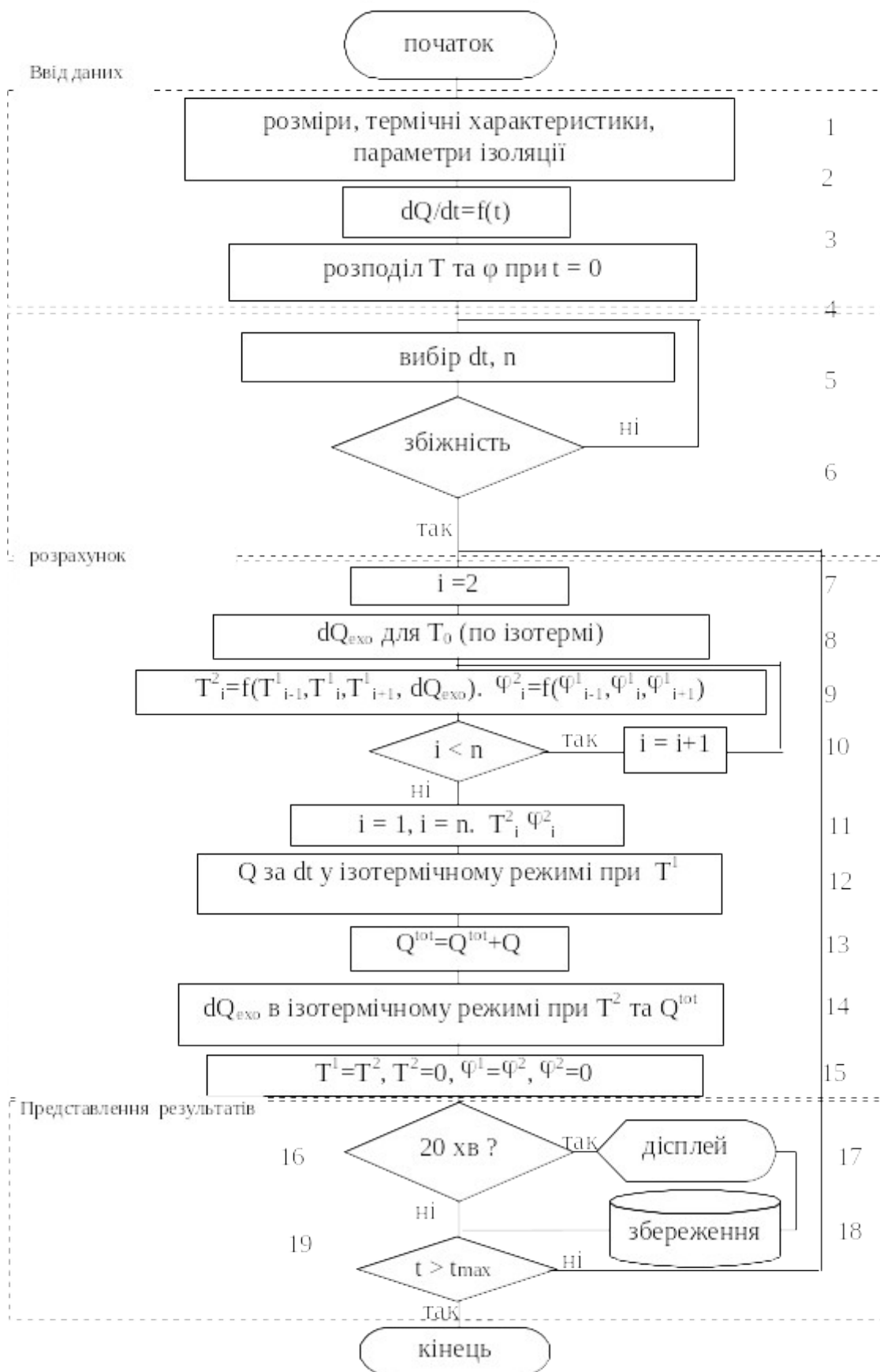


Рис. 1. Схема алгоритму розрахунку температурно-вологісних полів

Особливу увагу приділено розробці сучасних методів вимірювання параметрів вологості. Розроблено діелектричний датчик вологості (ДДВ) з використанням вологочутливої речовини, що не бере участь у процесі провідності і не сорбує вологу, що особливо важливо для вимірів у пропарювальних камерах.

Здійснено спробу подолання труднощів кількісної оцінки взаємозалежного впливу температурних ( $\Delta T$ ) та вологісних ( $\Delta \varphi$ ) градієнтів (ТВГ) у процесі тепловологісної обробки (ТВО) залізобетонних виробів. Запропоновано їх оцінювати за допомогою узагальненого фактора ТВГ, названого F-фактором. F-фактор є функцією обох градієнтів. У випадку однотипних залізобетонних виробів та ідентичних складів бетону передбачається, що  $F=f(\Delta T, \Delta \varphi)$ . Це вираження є алгебраїчним записом тривимірної поверхні в координатному просторі ( $\Delta T$ ,  $\Delta \varphi$ , F). Значення градієнтів відкладаються по горизонтальних осях, які утворюють прямокутну область визначення, значення фактора F – по вертикальній.

Для зручності роботи з поверхнею доцільно розглядати її в топографічному виді з боку осі F. При цьому область визначення розбивається на зони з визначеним значенням F-фактора. Для реалізації моделі при регулюванні технологічних параметрів і режимів розроблена методика прогнозу ТВГ на основі рішення системи диференціальних рівнянь тепло- і масопереносу (О.В.Ликов) відповідно до алгоритму (рис.1). Він містить у собі три блоки «ввід даних», «розрахунок» та «представлення результатів». Методика реалізується при розрахунку та прогнозі температурно-вологісних полів та градієнтів у пропарювальних камерах.

**Третій розділ** дисертації присвячений відображенню результатів вивчення особливостей тепловиділення та структуроутворення цементів, що твердіють у присутності добавок-модифікаторів в інтервалі 20-80<sup>0</sup>С. Ціль цих досліджень полягає у встановленні можливостей регулювання швидкості та повноти процесів, що протікають, за рахунок хіміко-термічних впливів

.

Термокінетичний аналіз впливу температурного фактора підтвердив очікувані ефекти інтенсифікації фізико-хімічних реакцій. Визначено основні

параметри тепловиділення та теплоти гідратації цементів, у т.ч. у присутності добавок «Релаксол» та УПБ для оцінки внеску тепловиділення в енергетичний баланс твердіння бетону при розрахунку градієнтів  $\Delta T$ ,  $\Delta \phi$  і F-фактора. Для кожного з цементів, що твердіють у присутності добавок і без них, кількісно визначені значення першого, другого (іноді і третього) екзо ефектів, тривалості характерних періодів гідратації - індукційного, прискореного та уповільненого. Термокінетична інформація використовується в спеціальних комп'ютерних масивах “Бази технологічних знань” при обґрунтуванні вибору ефективних температурних режимів твердіння бетону. У випадку застосування швидкотвердіючого портландцементу Кам'янець-Подільського заводу показана недоцільність підвищення температури ізотермічної витримки вище 50-60°C. Цей факт є переконливим підтвердженням використання термокінетичних даних при регулюванні температурних режимів з метою зниження негативних наслідків прояву температурно-вологісних градієнтів ТВО.

Обидва модифікатори, що вводяться в бетон, трохи сповільнюючи гідратацію, знижують показники тепловиділення. Однак їхній вплив в інтервалах температур 20-40, 40-60 і 60-80°C не є однаковим. Виявляється значимість вмісту шлакової складової в складі Криворізького цементу, теплова активація якої зростає з ростом температури.

За допомогою методики ХДТУБА з визначення тепловиділення в неізотермічних умовах, наближених до реальних температурних режимів, встановлено, що для різних стадій ТВО – попереднього витримування, розігріву та ізотермічної витримки зафіксовані кількісні характеристики швидкості тепловиділення та теплоти гідратації для розрахунків зміни  $\Delta T$ ,  $\Delta \phi$  градієнтів.

З урахуванням високого ступеня впливу температури на формування пористості та форм зв'язку води в цементному камені проведені дослідження в розглядаємому температурному інтервалі. Показано, що ТВО сприяє формуванню взаємозв'язаної системи пір, збільшенню сумарного об'єму пір понад 40%, збільшенню розмірів капілярних пір. Усе це впливає на такі властивості бетону як міцність, проникність. Оскільки поверхня бетону стає

доступною для контакту з компонентами навколишнього середовища, то знижується також стійкість бетонів в агресивних середовищах.

З іншого боку, при ТВО прискорюються процеси гідратації, що відображується на формуванні гелевої пористості та збільшенні кількості хімічно зв'язаної води.

Хімічні добавки пластифікуючого типу та комплексні модифікатори обумовлюють формування дрібнопористої структури цементного каменю, що відображається в зменшенні розмірів капілярних пір, зниженні сумарного об'єму пір. У присутності хімічних добавок відбувається зміцнення і ущільнення структури цементного каменю, що виражається в зменшенні розмірів пір і зниженні їхнього сумарного об'єму. Наявність у складі «Релаксолу» прискорювачів твердіння приводить до більш повного протікання гідратації цементу в порівнянні з іншими добавками. Максимум розподілу пір у цьому випадку зміщується з 30 нм до 9 нм, УПБ зміщує максимум до 12 і ЛСТ до 15 нм. Збільшується кількість і зменшується розмір гелевих пір у присутності «Релаксолу», що обумовлено утворенням дрібнодисперсних гідросилікатів кальцію. УПБ практично не змінює розміри і об'єм гелевих пір. ЛСТ, не змінюючи об'єму, зменшує розміри гелевих пір.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що з усіх досліджених добавок тільки «Релаксол» практично не змінює характер розподілу пір за розмірами, характерний для контрольного зразку, і при цьому знижує їхній сумарний об'єм. Збільшується кількість гелевих пір, що сприяє росту міцності цементного каменю і бетону. Зменшення об'єму капілярних пір обумовлює зниження проникності бетону.

Вологість середовища значно впливає на зріст в цементному камені числа більш дрібних пір, заповнених водою і розташованих у діапазоні 1,9-3,4 нм. Це, імовірно, обумовлено адсорбційними процесами, найбільш характерними для даної області пір. При зниженні відносної вологості повітря з 90 до 40 % підвищується вміст пір розмірами більш 11 нм. Ці зміни пояснюються тим, що вода з них випаровується і продукти гідратації, що сприяють зменшенню розмірів пір, не утворюються в необхідній кількості.

Підвищення відносної вологості сприяє також незначному з 0,123 до 0,102 см<sup>3</sup>/м зниженню сумарного об'єму пір.

**В четвертому розділі** дисертації наведено результати досліджень впливу температурно-вологісних градієнтів при різних режимах ТВО на фізико-хімічні властивості бетону та оцінки внеску екзотермії в енергетичний баланс твердіння.

Розрахунок градієнтів температури та вологовмісту (рис. 2) показав, що у перші 2-4 год інтенсивно випаровується волога з поверхневого шару бетону, що активізується при підвищенні температури внутрішніх шарів бетону внаслідок екзотермії. При зниженні швидкості тепловиділення розподіл вологовмісту бетону по перетині вирівнюється.

Характер зміни градієнтів температури і вологовмісту бетону практично не змінюється при твердінні бетону в умовах різних режимів ТВО. На етапі попереднього витримування при температурі, що не змінюється, виникає незначний градієнт  $\Delta T = -0.05 \dots -0.15^\circ\text{C}/\text{см}$ . Цей період характеризується розвитком негативних значень  $\Delta W$  за рахунок випару вологи з поверхневого шару бетону.

На етапі нагрівання температура бетону в поверхневих шарах росте з більшою швидкістю, ніж у середині. Тому закономірний позитивний градієнт  $\Delta T$ , що досягає максимального значення приблизно через 2 год. ТВО і дорівнює +0,2; +0,3; і +1,1 $^\circ\text{C}/\text{см}$  для режимів 2, 3 і 4, відповідно. Однак, внаслідок малої товщини плити, тепло, що отримується бетоном, досить швидко проникає у внутрішні шари.

Під дією екзотермії температура внутрішніх шарів виробу декілька вище ніж на поверхні. Градієнт  $\Delta T$  знижується до нуля і набуває негативні значення  $\sim -0.3 \dots -0.5^\circ\text{C}/\text{см}$ . Градієнт вологовмісту  $\Delta W$  різко змінюється, що супроводжується міграцією вологи за напрямком від центру до периферії, а далі гальмується її надходженням усередину виробу при «вологісному ударі» – утворенні конденсату.

$T, ^\circ\text{C}$	$\Delta T=f(t)$	$\Delta W=f(t)$
---------------------	-----------------	-----------------

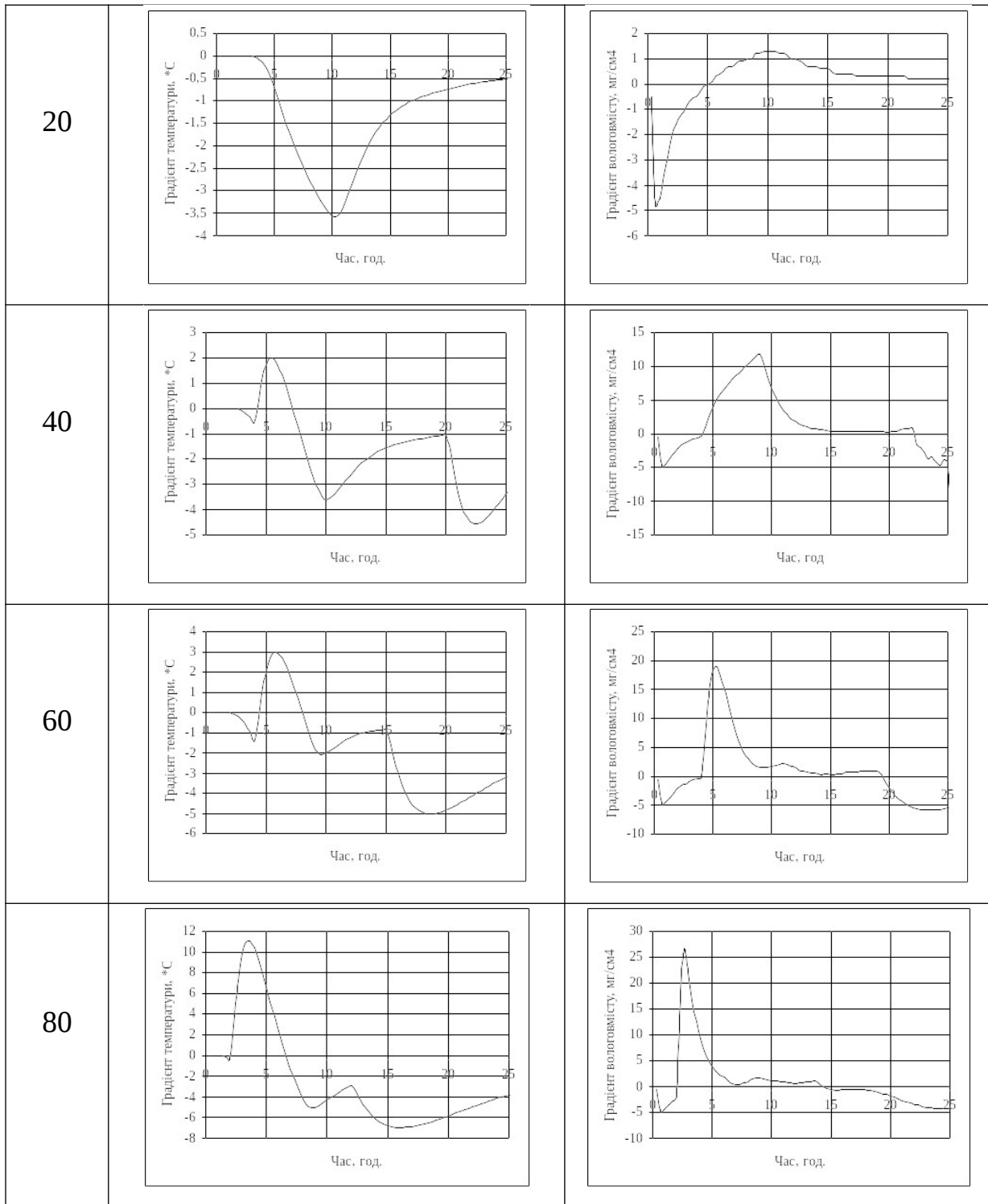


Рис. 2. Зміна  $\Delta T$  і  $\Delta W$  бетону виробу при ТВО

Стабілізація температури відносно вирівнює температуру бетону по перетині виробу. Подальший прогин на кривій градієнту вологовмісту пов'язаний із припиненням подачі пару в камеру та охолодженням. Для температур вище  $60^{\circ}\text{C}$  швидкість зниження температури вище, тому значення градієнтів на етапі охолодження більше. У поверхневих шарах бетону вологовміст нижче. Це приводить до другого періоду міграції вологи перпендикулярно

поверхні. Волога проходить по структурі бетону, що вже сформувалася, і не може викликати таких негативних наслідків, як на етапі нагрівання.

Взаємна залежність між значеннями градієнтів температури та вологовмісту представлена на рис.3 на прикладі режиму із температурою ізотермічної витримки 80°C. Видно дві «петлі» ТВГ, що відповідають етапам нагрівання та охолодження бетонних виробів. Точки на рис.3 позначають 20-хвилинні інтервали.

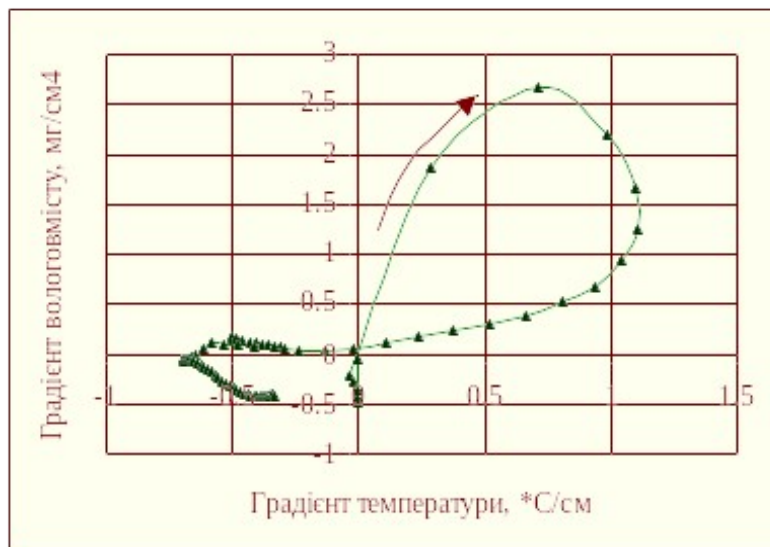


Рис. 3. Градієнти  $\Delta T$  та  $\Delta W$  при 80°

**П'ятий розділ** присвячено впровадженню результатів роботи у виробництво.

Наведено підсумки методичним та експериментальним розробкам, присвяченим удосконаленню режимів прискореного твердіння бетонів стосовно до умов Київського заводу ЗБК Південно-Західної залізниці "Укрзалізниці".

Аналіз параметрів технології залізобетонних виробів показав, що основними факторами, які впливають на зміну властивостей бетону, є коливання параметрів температури і вологості в різних рівнях

пропарювальних камер. Для вивчення характеру температурних та вологісних полів в камерах застосовувався мікропроцесорний прилад. Виміри проводились з інтервалом 30 хвил.

З використанням розробленого датчика вологості та термометру опору були проведені виміри цих показників при 40, 60 та 80 °С. Результати вимірів показали, що зниження температури твердіння до 60 °С знижує коливання цих показників, що у свою чергу може знизити значення градієнтів, а також і F-фактору.

На заводі були засвоєні елементи інформаційно-довідкової системи (ІДС) у виді комплекту прикладних програм «Заводська лабораторія». Це дозволило підвищити однорідність продукції, що випускається. Коефіцієнт варіації – 0,023.

За допомогою фрагменту програм підібрані раціональні склади бетонів з добавками модифікаторами. Вибір режимів твердіння ЗБВ у визначених температурно-часових границях робиться з урахуванням результатів обстеження роботи пропарювальних камер заводу, комп'ютерного моделювання розвитку градієнтів температури і вологості.

У шостому розділі виконані розрахунки економічної ефективності впровадження результатів наукової роботи на Київському заводі ЗБК Південно-Західної залізниці визначенням приросту прибутку за розрахунковий 2001 рік.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З метою підвищення ефективності технології залізобетонних виробів транспортного призначення виконано аналіз методів забезпечення властивостей бетонів прискореного твердіння. Виділено значимість кількісної оцінки температурно-вологісних градієнтів, що розвиваються в умовах тепловологісної обробки під впливом зовнішніх і внутрішніх джерел тепла.
2. Показано доцільність використання інформаційного підходу до вирішення задач оперативного регулювання складів і режимів твердіння бетонів за

умови забезпечення інформацією щодо показників температурно-вологісних градієнтів, що розвиваються у виробі під час твердіння. Розроблено датчик



виміру характеристик вологості, комп'ютерні моделі для розрахунку і прогнозу градієнтів температури і вологості. Обґрунтовано узагальнений показник розвитку температурно-вологісних градієнтів, що названо F-фактором, як їхня комплексна функція.

3. Проведено комплексне калориметричне вивчення впливу температури на кінетику тепловиділення в ізотермічних та неізотермічних умовах. Оцінені термокінетичні показники - швидкість тепловиділення і теплота гідратації цементів у присутності хімічних добавок ЛСТ,УПБ,"Релаксол". Виконано їхні розрахунки для заданих температурних режимів, що показали ефективність використання добавок для зниження температурно-вологісних градієнтів.
4. Методом термопорометрії визначено параметри порової структури і форми зв'язку води досліджуваних бетонів, які свідчать про ущільнення структури цементного каменю, зниження проникності без зменшення міцності при застосуванні рекомендованих режимів, що важливо для забезпечення довговічності бетонів для об'єктів транспортного призначення.
5. Доведено, що 40 - 60 °С є оптимальним температурним інтервалом твердіння досліджуваних бетонів для об'єктів транспортного призначення при ТВО.
6. Оцінено внесок екзотермії, як внутрішнього джерела тепла, і границі його впливу на термовологісні градієнти.
7. Методом комп'ютерного моделювання виконано розрахунки і прогноз узагальненого F-фактора в інтервалі 20-80 °С, що дозволили розробити ефективні склади і режими твердіння бетонів, а у разі необхідності, діапазон їх оперативного регулювання. Доведена економічна доцільність зниження температури ізотермічної витримки пропарюваних бетонів при виготовленні бортових балок, опор контактної мережі та рамних конструкцій платформ з 80 °С до 60 °С.
8. Сформовано комп'ютерні банки нормативно-технологічних даних з урахуванням рекомендованих оперативно змінюваних режимів прискореного твердіння бетону в умовах тепловологісної обробки ЗБВ.
9. Розробки впроваджено у виробництво на Київському заводі залізобетонних конструкцій Південно-Західної залізниці.

### Основні положення дисертації опубліковано у роботах:

1. Артюхович Т.Д., Возненко А.Д. Пути модификации поверхностно-активных веществ на основе лигносульфонатов // Межвуз. сб. науч. тр.: “Интенсификация производства сборного железобетона”. - Харьков: ХИИТ. – 1992. - Вып. 18. – С. 52-57.
2. Боярский А.В., Возненко А.Д., Кузьмин В.Ф., Кутах А.П. Автоматическое управление ТВО бетона // Межвуз. сб. науч. тр.: ”Интенсификация производства сборного железобетона”. - Харьков: ХИИТ. – 1992. - Вып. 18. – С. 61-68.
3. Артюхович Т.Д., Возненко А.Д., Кутах А.П., Шавловский Н.Н. Опыт выпуска безобжигового кирпича на оборудовании фирмы “Сemen teach” // Межвуз. сб. науч. тр.: “Интенсификация производства сборного железобетона”. – Харьков: ХИИТ. – 1992. – Вып.18 – С. 68-73.
4. Колчунов В.И., Возненко А.Д. Определение относительных взаимных смещений бетона и арматуры в железобетонном элементе после нарушения сплошности бетона // Межвуз. сб. науч. тр.: “Совершенствование методов расчета и проектирования конструкций и сооружений”. – Харьков: ХИИТ. – 1996.-Вып.27 – С. 121-132
5. Возненко А.Д. Роль влажности паровоздушной среды при термообработке бетонов и возможности ее применения // Зб. наук. пр. Київського інституту залізничного транспорту.- К.-Т.1, - Вип.1.– 1998. - С. 112-114.
6. Возненко А.Д. Информационная система обеспечения качества транспортных бетонов // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХОТВ АБУ. – 1999. - Вип.7. – С. 294 – 298.
7. Златковский О.А., Возненко А.Д., Кутах А.П. К прогнозу температурно-влажностных измерений при ускоренном твердении железобетонных изделий // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХОТВ АБУ. – 2000. - Вип. 10. – С. 276 – 283.
8. Возненко А.Д. Расчет и моделирование температурно-влажностных градиентов при пропаривании железобетонных изделий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХОТВ АБУ. – 2001. - Вип. 12.- С. 272 – 278.

9. Возненко А.Д., Златковский О.А., Синякин А.Г. Учет температурно-влажностных градиентов при ускоренном твердении железобетонных изделий // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХОТВ АБУ. – 2002. – Вып.16 – С.125 – 131.
10. Кутах А.П., Возненко А.Д. Вопросы регулирования влажности в процессе тепловлажностной обработки бетона // Тезисы докл. науч. практич. конф. “Технические и социальные факторы прогресса на железнодорожном транспорте” К.- 1991.- С. 18-19.
11. Кутах А.П., Возненко А.Д. Направленное регулирование эксплуатационных свойств бетона для конструкций железнодорожного транспорта // Тезисы докладов на научных чтениях “Физико-химические проблемы строительного материаловедения”. – Харьков. - 1998. - С. 38.
12. Возненко А.Д., Златковский О.А. Моделирование температурных и влажностных полей при твердении бетона в условиях повышенных температур // Материалы 40 международного семинара по моделированию и оптимизации композитов. – Одесса: ”Астропринт”. – 2001. – С. 39 – 40.

## АНОТАЦІЯ

Возненко А.Д. Удосконалення режимів твердіння бетонів для об'єктів транспортного призначення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали і вироби. – Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2002.

Робота присвячена вирішенню актуальних задач підвищення ефективності технології залізобетонних виробів транспортного призначення в умовах діючого підприємства. Розроблено нові методики і пристрої для виміру параметрів вологості в теплових агрегатах і бетоні, запропоновані комп'ютерні моделі розрахунку і прогнозу температурно-вологісних градієнтів. Уперше запропоновано для подолання труднощів кількісної оцінки взаємозалежного впливу температурних і вологісних градієнтів оцінювати їх за допомогою

узагальненого фактору. В експериментальній частині роботи сформована інформаційно-довідкова система лабораторно-технологічного контролю виробництва залізобетонних виробів на Київському заводі ЗБК Південно-Західної залізниці.

На основі проведених досліджень, освоєння елементів інформаційно-довідкової системи розроблені і впроваджені рекомендації з удосконалення режимів теплової обробки залізобетонних виробів.

Ключові слова: бетон, вологість, температурно-вологісні градієнти, пропарювальні камери, екзотермія, хімічні добавки.

### АННОТАЦИЯ

Возненко А.Д. Совершенствование режимов твердения бетонов для объектов транспортного назначения. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2002.

Работа посвящена решению актуальных задач повышения эффективности технологии железобетонных изделий транспортного назначения в условиях действующего предприятия. Анализом изученности режимов ускоренного твердения установлена целесообразность углубления оценки и устранения негативного влияния температурно-влажностных градиентов, развивающихся при ускоренном твердении бетона под действием внешних и внутренних тепловых воздействий. С этой целью разработаны новые методики и устройства для измерения параметров влажности в тепловых агрегатах и бетоне, предложены компьютерные модели расчета и прогноза температурно-влажностных градиентов. Впервые предложено для преодоления трудностей количественной оценки взаимозависимого влияния температурных и влажностных градиентов оценивать их с помощью обобщенного фактора. Обоснована необходимость решения технологических задач с привлечением возможностей компьютерной техники.

В экспериментальной части работы сформирована информационно-справочная система лабораторно-технологического контроля производства железобетонных изделий на Киевском заводе ЖБК Юго-Западной железной дороги.

Методами калориметрического анализа установлены общие и отличительные зависимости скорости и полноты реакций гидратации и формирования микроструктуры цементного камня во взаимосвязи с возможностями регулирования процессов твердения и свойств бетонов в присутствии индивидуальных и комплексных химических добавок.

Реализация развиваемого подхода, разработанных методик и полученных результатов осуществлена на указанном заводе после детально проведенного научно-технического аудита уровня состояния технологии наиболее значимой по объему продукции, используемой при ремонте, реконструкции или строительстве железнодорожных магистралей. Выполнена оценка развивающихся температурных и влажностных градиентов с области температур 20-80 °С с целью выбора эффективных режимов тепловлажностной обработки. Подтверждена приемлемость предложенной методики оценки обобщенного F-фактора.

На основе проведенных исследований, освоения элементов информационно-справочной системы разработаны и внедрены рекомендации по совершенствованию режимов тепловой обработки железобетонных изделий.

Ключевые слова: бетон, влажность, температурно-влажностные градиенты, пропарочные камеры, экзотермия, химические добавки.

## SUMMARY

Voznenko A.D. Improving concrete condition hardening for transport artificial ifructures. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.23.05 - building materials and products. - Kharkov State Academy of a Railway transport, Kharkov, 2002.

The thesis is devoted to the solution of actual problems of increase of efficiency of technology of concrete items of transport assigning in conditions of the operational firm. The new techniques and devices for measurement of parameters of humidity in thermal aggregates and concrete are designed, the computer models of calculation and forecast of temperature-humidity gradients are offered. For the first time it is offered for overcoming difficulties of a quantitative assessment of interdependent influencing of temperature and humidity gradients to estimate them with the help of the generalized factor.

In an experimental part the directory system of a lab-control technology of effecting of concrete items at the Kiev plant FCC of the Southwest railway is formed.

On the basis of the conducted researches, the developments of elements of a directory system are designed and the guidelines on perfecting regimes of an annealing heat treatment of concrete items are inserted.

Key words: concrete, temperature and humidity gradients, thermal aggregates, computer models.

ВОЗНЕНКО Анатолій Дмитрович

УДОСКОНАЛЕННЯ РЕЖИМІВ ТВЕРДІННЯ БЕТОНІВ ДЛЯ  
ОБ`ЄКТІВ ТРАНСПОРТНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

05. 23.05 – Будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Надруковано згідно до оригіналу автора

---

Підписано до друку 04.04.2002р. Формат паперу А5, папір для тиражувальних апаратів, друк на різнографі. Замовлення № 647, тираж 100

---

Надруковано видавничо-друкарським комплексом  
Київського університету економіки і технологій транспорту  
03049, м. Київ-49, вул.М. Лукашевича, 19