

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЭЛЬ-САИЕД Амер

ПОВЫШЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ  
В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА

Специальность - 05.23.05 строительные материалы и изделия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск - 1994

АВ 29.480

Работа выполнена на кафедре "Технология бетонов и вяжущих"  
Днепропетровского инженерно-строительного института.

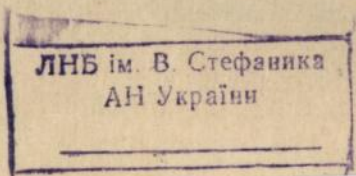
- Научный руководитель - доктор технических наук,  
профессор  
В.Н. ПУГАГИН
- Официальные оппоненты: - доктор технических наук,  
профессор  
Л.С. Савин
- кандидат технических наук,  
доцент  
А.А. Шишкин
- Ведущая организация - Днепропетровское дочернее  
арендное предприятие НИИСП

Защита состоится "14" сентября 1994 г. в 13<sup>00</sup> часов  
на заседании специализированного совета К 068.32.02 Днепропетров-  
ского инженерно-строительного института по адресу:  
32000Е, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24 а, ДИСИ.  
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "14" марта 1994 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
к.т.н., доцент

А.К. Карпухина



ЛННБ України ім.В.Стефаника

00801544 (М)

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**А к т у а л ь н о с т ь т е м ы.** Коренное улучшение строительного производства в условиях сухого жаркого климата /СЖК/ возможно путем использования комплекса мер, направленных на повышение трещиностойкости и долговечности бетона. Трещиностойкость материала с учетом климатических воздействий определяется его напряженным состоянием от развития температурно-усадочных деформаций. Актуальность такого исследования особенно важна для обширных регионов Южной Азии, Северной Африки и ряда других районов земного шара, где интенсивно применяется бетон и железобетон в различных видах строительства.

**Ц е л ь** является комплексное исследование свойств тяжелых бетонов, твердеющих в условиях СЖК, для повышения их трещиностойкости и долговечности как упруго-вязко-пластичных тел.

**З а д а ч и и с с л е д о в а н и я.** Для достижения поставленной цели и подтверждения рабочей гипотезы необходимо решение следующих задач:

- исследование гигрометрического состояния бетона в условиях СЖК;
- прогнозирование деформативности бетона в условиях СЖК, включая исследование усадки и ползучести материала;
- оценка напряженного состояния бетона как упруго-пластичного материала;
- определение критерия трещинообразования бетона и условия его трещиностойкости;
- разработка комплекса мероприятий по повышению трещиностойкости бетона как упруго-пластичного материала.

**Н а у ч н а я н о в и з н а** работы заключается в следующем:

- установлено гигрометрическое состояние бетона в элементах различной массивности, а также предложены зависимости для прогнозирования влажностного состояния бетона в жаркий период года;
- доказана прямая пропорциональная зависимость между относительными водопотерями и усадочными деформациями бетона, с учетом его критической влажности;
- определен критерий трещинообразования бетона из условия превышения внутренних температурно-усадочных напряжений уровня прочности бетона при растяжении;
- решена неупругая задача оценки структурных напряжений трещинообразования бетона с учетом его ползучести в условиях СЖК, что позволило получить уравнения напряженного состояния бетона как упруго-пластичного материала;
- разработаны технологические мероприятия по повышению трещиностой-

кости материала в условиях сухого жаркого климата.

Практическая значимость работы заключается в разработке и внедрении комплекса технологических мероприятий, направленных на повышение трещиностойкости бетона при его применении в условиях СЖК.

Рекомендации диссертационной работы использованы при разработке технических условий на проектирование и применение бетонных и железобетонных элементов в условиях СЖК.

**А п р о о а ц и я р а б о т ы.** Материалы диссертации были доложены на:

Первой международной научно-технической конференции "Материалы для строительных конструкций XXI века", Днепропетровск, сентябрь, 1992;

Международной научно-технической конференции "Повышение долговечности и эффективности работы конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений", Челябинск, апрель, 1993;

45-ой научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов и соискателей, ДИСИ, Днепропетровск, апрель, 1993;

Научно-технической конференции "Теория и практика применения суперпластификаторов в бетоне", Пенза, июнь, 1993;

Второй международной конференции ИСВМ "Материалы для строительства", Днепропетровск, октябрь, 1993.

**ПУБЛИКАЦИИ.** По теме диссертации опубликовано и сдано в печать 11 работ.

**СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ.** Работа состоит из введения, шести глав, общих выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений, изложенных на 207 страницах машинописного текста и содержит 27 таблиц и 40 рисунков. Библиография включает 95 наименований. По материалам диссертации разработан проект технических условий по применению бетона в условиях СЖК.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные теоретические и практические вопросы исследований напряженного состояния бетона и развития в нем температурно-усадочных деформаций от влияния климатических факторов отражены в трудах: С.В. Александровского, А.Х. Арутюняна, В.И. Бабушкина, Ю.М. Гаженова, А.В. Гелова, В.П. Вирового, О.Е. Власова, Г.И. Горчакова, П.И. Кривенко, Р.Л. Маилляна, В.Н. Малинского, С.А. Миронова, В.Н. Пунагина, Р.Ф. Руновой, М.И. Селимова, Л.П. Трапезникова, В.Н. Худовердяна, Р. Лермита, Р. Лорю, Т. Пауэрса, В. Хенка и других.

Однако, большинство перечисленных ученых исследовали влияние температурно-влажностных факторов на свойства бетона в лабораторных условиях. Определялись напряжения и трещинообразование на макро- или субмикроскопическом уровне. Для технологии весьма важно оценить напряженное состояние бетона на промежуточном мезоуровне в натуральных условиях СЖК. В этом случае возникают напряжения, уравновешенные в объемах, соизмеримых с размерами зерен заполнителя бетона.

На основании изложенного была разработана следующая рабочая гипотеза:

а/ напряженное состояние и трещиностойкость бетона в условиях сухого жаркого климата определяется его гигрометрическим состоянием и температурно-усадочными деформациями;

б/ величина действующих напряжений может быть оценена методами механики упруго-пластичного тела, что вызывает необходимость учета ползучести материала в условиях СЖК;

в/ защита бетона от трещинообразования должна носить комплексный характер, учитывая свойства материала и его технологии, а также методику оценки внутренних напряжений.

Для экспериментов использованы материалы, отвечающие действующим ГОСТам и близким по свойствам материалам, применяемым на Ближнем Востоке. Использовалась стандартная методика исследований, а для измерения температуры и влажности элементов сконструирована специальная установка.

Особое внимание уделялось исследованию гигрометрических свойств бетона в условиях СЖК. Гигрометрическое состояние зависит от температуры и влажности окружающего воздуха. Влага в твердеющем бетоне бывает трех видов: химически связанная влага  $/U_x/$ , физически связанная влага  $/U_{ф}/$  и испарившаяся вода  $/U_{исп}/$ . Нами установлен характер влажностного состояния бетонных элементов в условиях СЖК, а также изменение количества каждого вида влаги по глубине бетонного элемента /рис. 1/.

Решающим фактором, определяющим прочностные свойства бетона, является количество испарившейся влаги. Процесс испарения воды с поверхностных слоев происходит более интенсивно, чем с глубины элемента. Поэтому усадочные деформации будут различны по глубине элемента, что приводит к возникновению напряженного состояния и возможности возникновения трещин. Водопотери являются причиной значительных усадочных деформаций. В массивных элементах водопотери компенсируются миграцией влаги с глубины элемента. Установлено также, что количество испарившейся влаги в условиях СЖК, более чем в два раза превышает водопотери при нормальных условиях /рис. 2/. Предложена экспоненциальная зависимость

для определения водосодержания бетона в условиях  $\text{СЖК}$ :

$$U(t) = U_0 \exp\left(-\frac{MF^2 L}{V_0^2}\right) \quad /I/$$

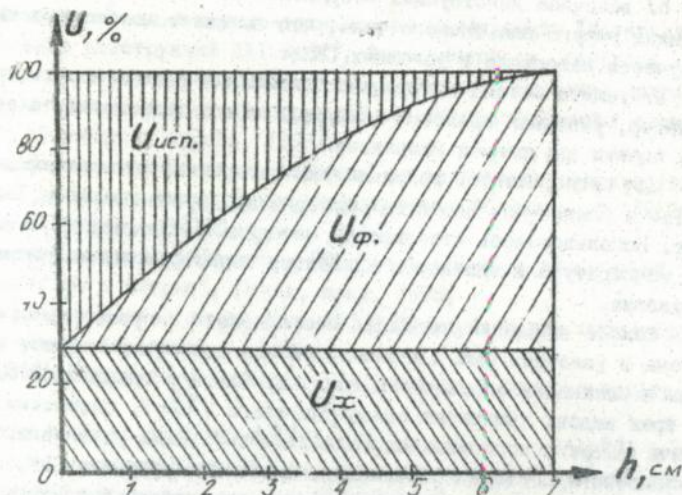


Рис. I Распределение различных видов влаги по глубине бетонного элемента

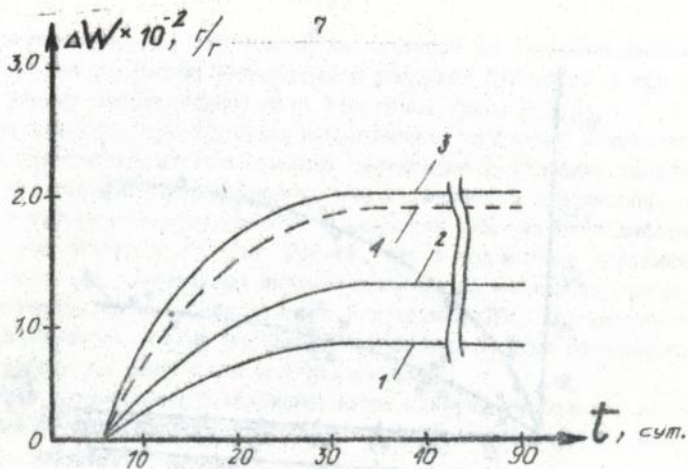


Рис. 2 Кривые водопотерь бетона в зависимости от условий твердения: 1-лаборатории; 2-естественные условия /в тени/; 3-естественные условия /на солнце/; 4-кривая по уравнению /I/

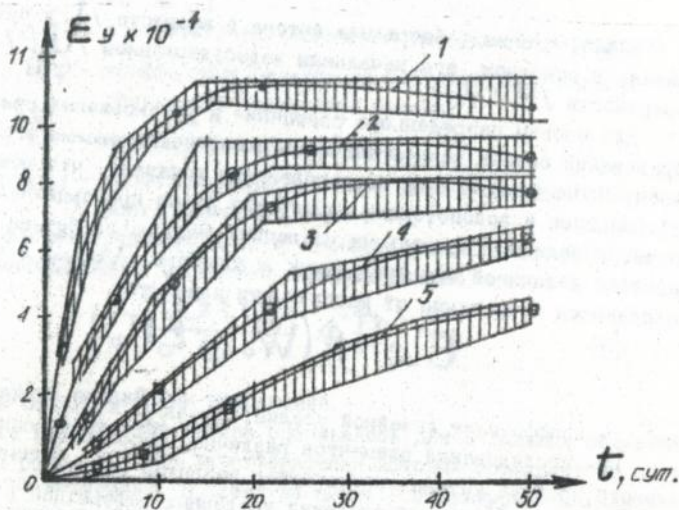


Рис. 3 Усадочные деформации бетонных элементов различной массивности: 1- = 20; 2-10; 3-5; 4-2,5; 5-1,25 м<sup>-1</sup>

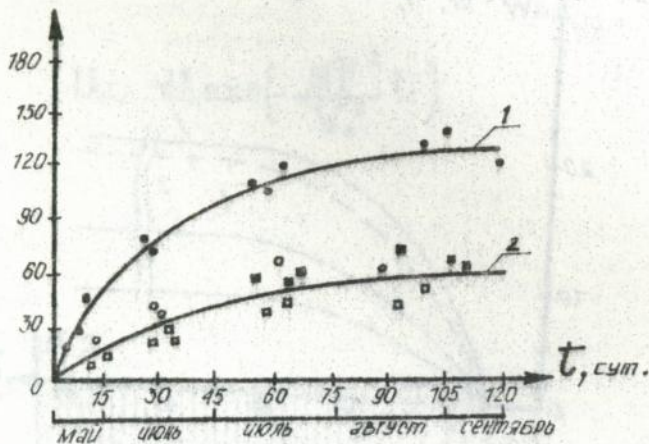


Рис. 4 Кривые ползучести бетона в условиях СНК: 1-естественные; 2-нормальные

Видно, что водосодержание бетона в возрасте  $t$ , суток / определяется, в основном, его начальным водосодержанием  $U_0$  / и модулем поверхности  $F / V_0$  /.

Для оценки напряженного состояния и установления критерия трещинообразования бетона важное значение имеет исследование его деформативности. Проведенными нами исследованиями доказано, что между усадочными деформациями и водопотерями существует прямо пропорциональная зависимость, а величина предельных усадочных деформаций бетона  $\epsilon_\infty$  / определяется величиной его предельных водопотерь  $W_\infty$  / и начальным водосодержанием независимо от массивности элемента:

$$\epsilon_\infty = \beta (W_\infty - \xi U_0) \quad (12)$$

где  $\beta$  - коэффициент линейной усадки, равный  $\beta = 3 \times 10^{-2} \text{ мм}$ .

При исследовании элементов различной массивности из бетона различного состава установлен характер развития усадки во времени. Предложено уравнение для определения усадочных деформаций в любой момент времени:

$$\epsilon_y = \epsilon_\infty \left( 1 - \exp \frac{t - t_{\text{эф}}}{t_0} \right) \quad (13)$$

Из уравнения видно, что усадка развивается по экспоненциальному закону. Величина усадочных деформаций в условиях СЖК почти в три раза превышает усадку бетона нормального твердения /рис. 3/.

Важное значение при изучении напряженного состояния бетона имеют деформации ползучести, обеспечивающие релаксацию внутренних напряжений. Доказано, что деформации ползучести, как и усадочные деформации, развиваются по экспоненциальному закону. В условиях СЖК значения деформации ползучести при сжатии в 2-3 раза больше, чем в нормальных условиях твердения /рис. 4/. Совершенно иную картину можно наблюдать при растяжении. Ползучесть бетона, твердевшего в условиях СЖК, при растяжении ниже, чем ползучесть бетона нормального твердения. Этим объясняется ухудшение работы на растяжение в условиях СЖК.

Учитывая установленную закономерность ползучести бетона, предложен критерий трещинообразования бетона как упруго-пластичного материала:

$$\sigma(t) = \Delta \varepsilon \cdot a_{\varphi} \cdot E \leq R_p(t) \quad /4/$$

где

$\sigma(t)$  - растягивающее напряжение в бетоне в момент времени  $t$ ;

$\Delta \varepsilon$  - относительная стесненная деформация материала;

$a_{\varphi}$  - коэффициент релаксации растягивающих напряжений в результате ползучести бетона;

$E$  - модуль упругости бетона;

$R_p(t)$  - расчетное сопротивление бетона на растяжение к моменту времени  $t$ ;

учитывая коэффициент пластичности и величину растяжимости бетона, критерий трещинообразования запишем в следующем виде:

$$\frac{\sigma(t)}{\varphi} \leq R_p(t) \quad /5/$$

где  $\varphi_t$  - функция релаксации напряжений.

Напряженное состояние бетона оценивалось для отдельных областей /циклов/, истинные удельные характеристики которых совпадают со средними значениями материала. В качестве цикла - структурной модели - выбран шар с упругим ядром /заполнитель/. Такая модель была использована Е. Хенком. Однако, эта задача решена в предположении, что бетон является абсолютно упругим телом, т.е. без учета пластических деформаций.

Используя положения теории упругости для осесимметрической задачи Ляме, нами найдены максимальные радиальные и тангенциальные напряжения

в структуре бетона:

$$\max \sigma_p(t) = \frac{-(1-V) \cdot \Delta \varepsilon_p}{\frac{1}{2E_1} [1+2V + \mu_1(1+4V)] + \frac{1}{E_2} (1-V)(1-2\mu_2)} \quad /6/$$

$$\max \sigma_T(t) = \frac{(1+2V) \cdot \Delta \varepsilon_p}{\frac{2}{E_1} [1+2V + \mu_1(1-4V)] + \frac{2}{E_2} (1-V)(1-\mu_2)} \quad /7/$$

где  $V$  - относительное насыщение бетона крупным заполнителем.

Принимая среднее значение коэффициента Пуассона для крупного заполнителя  $\mu = 0,2$  и используя значение модуля объемной упругости  $K = E/(1-2\mu)$  после упрощений приходим к расчетным уравнениям внутренних напряжений бетона:

$$\max \sigma_p(t) = \frac{q \cdot \Delta \varepsilon(t)}{\frac{\lambda}{K_1} - \frac{1}{K_2}} \quad /8/$$

$$\max \sigma_T(t) = \frac{q \cdot \Delta \varepsilon(t)}{2 \left( \frac{\Psi}{K_1} + \frac{\xi}{K_2} \right)} \quad /9/$$

где  $q$  - коэффициент приведения структурных напряжений;

$\lambda, \Psi, \xi$  - структурные характеристики бетона.

$$\lambda = \frac{1+V}{1-V}; \quad \Psi = \frac{1+V}{1+2V}; \quad \xi = \frac{1-V}{1+2V}$$

Введенный коэффициент приведения упругих структурных напряжений к действительным найден путем рассмотрения релаксационной функции, величина которой опр. делется ползучестью материала.

Принято положение, что к моменту времени  $t$  происходит сокращение длины элемента  $\varepsilon_y$ , которому соответствует внутреннее напряжение в бетоне  $\sigma_\delta$ . Однако, вследствие развития пластических деформаций в бетоне произойдет релаксация напряжений и они уменьшатся на величину  $\sigma_n$ . Тогда истинное напряжение в бетоне  $\sigma_\delta^*$  в момент времени  $t$  равно:

$$\sigma_{\delta}^* = \sigma_{\delta} - \sigma_n \quad /10/$$

Принимаем  $\sigma_n = \epsilon_n E_{\delta}$  и аналогично  $\sigma_{\delta} = \epsilon_y E_{\delta}$ ;  $\sigma_{\delta}^* = \epsilon_{\delta} E_{\delta}$ .  
Как известно, при  $\sigma = \text{const}$  мера ползучести  $\varphi_t$  равна отношению  $\epsilon_n / \epsilon_y$ .

Учитывая изменение напряжений  $\sigma$  во времени, снижение напряжений в бетоне от развития ползучести равно:

$$\sigma_n = S \varphi_t \epsilon_y E = S \varphi_t \sigma_{\delta}^* \quad /11/$$

где коэффициент  $S$  учитывает, что ползучесть за время  $t_1$  произошла под действием переменного напряжения, изменяющегося от 0 до  $\sigma_{\delta}$ .

Подставив /11/ в /10/, получим:

$$\sigma_{\delta}^* = \sigma_{\delta} - S \varphi_t \sigma_{\delta}^* \quad /12/$$

За элементарный промежуток времени  $dt$  произойдет бесконечно малое приращение напряжения, т.е. в момент времени  $t_1 + dt$  выражение /12/ примет вид

$$\sigma_{\delta}^* + d\sigma_{\delta}^* = \sigma_{\delta} + d\sigma_{\delta} - (S\varphi_t + dS\varphi_t)(\sigma_{\delta}^* + d\sigma_{\delta}^*) \quad /13/$$

После ряда математических преобразований, интегрируя полученное уравнение в пределах от 0 до  $t_1$  при граничных условиях: при  $t = 0$ ;

$\sigma_{\delta}^* = \sigma_{\delta} = 0$ ;  $S\varphi_t = 0$ , а при  $t = t_1$ ;  $\sigma_{\delta}^* = \sigma_{\delta}^*$ ;  $S\varphi_t = S\varphi_{t_1}$ ;  $\sigma_{\delta} = \sigma_{\delta}$  окончательно получим уравнение для действительных структурных напряжений бетона с учетом его ползучести:

$$\sigma = \frac{\sigma_{\delta}}{1 + S\varphi_{\infty}(1 - e^{-\delta t})} \quad /14/$$

где  $\varphi_{\infty}$  - предельная характеристика ползучести;  
 $\delta$  - параметр, зависящий от массивности элемента.

Принято, что характеристика ползучести изменяется по экспоненциальному закону  $\varphi_t = \varphi_{\infty}(1 - e^{-\delta t})$ , а изменение функции  $S$  во времени приведено в табл. I в зависимости от различной величины  $\varphi_t$ .

Табл. I

$\frac{\delta t}{\varphi t}$	г о д и									
	0,0001	0,001	0,005	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	5,0	$\infty$
5,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52	0,54	0,67	0,74	0,62	0,82
2,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,51	0,56	0,63	0,69	0,70
1,0	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,52	0,54	0,58	0,58

За промежуток времени от  $t_1$  до  $t_2$  напряжения изменяются от  $\sigma_1^*$  до  $\sigma_2^*$ . Это изменение связано с ростом усадочных деформаций  $\epsilon_{y_1}$  и  $\epsilon_{y_2}$ .

$$\sigma_2^* - \sigma_1^* = (\epsilon_{y_2} - \epsilon_{y_1}) E_s - \epsilon_n E_s \quad /15/$$

С учетом релаксации напряжений  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  после некоторых преобразований окончательно получаем зависимость для оценки действительных структурных напряжений в бетоне:

$$\sigma_2^* = \sigma_1^* \cdot \Phi + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{1 + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}} \quad /16/$$

Здесь  $\Phi = \frac{1 - \varphi_2 - \varphi_1}{1 + \frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2}}$  - функция релаксации напряжений за промежуток времени  $t_1 + t_2$

Используя релаксационные функции в уравнениях /14/ и /16/ найдены действительные напряжения в бетоне с различным значением В/Ц /от 0,4 до 0,7/ и переменным насыщением бетона крупным заполнителем / = 0,5 - 0,9/. Сравнение действительных напряжений с прочностью материала при растяжении произведено на рис. 5. Очевидно, что уровень тангенциальных напряжений при В/Ц > 0,5 превышает прочность материала при растяжении. В связи с этим в материале цементной или растворной оболочке вокруг заполнителя могут развиваться два противоположных процесса: зона пластического течения или зона трещин. Возможность любого из процессов зависит от прочностных и упругих характеристик материала. Используя теорию прочности материала, условие образования пластической зоны вокруг зерна заполнителя запишем в виде:

$$l_{max} = \frac{V \Delta \epsilon(t)}{\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2}} \leq \frac{K_{nn} R t}{2} \quad /17a/$$

Условие начала образования зоны трещин выразим, используя зависимость Ферре для прочности бетона на растяжение:

$$\sigma_T^{\max} = \frac{0,5(1+2V)\Delta\varepsilon(t)}{\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2}} \quad /176/$$

Отсюда выразим величину  $\Delta\varepsilon$ :

а/ из условия образования пластической зоны:

$$\Delta\varepsilon_{пл.} = \frac{K_{пл} R_t}{2V} \left( \frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2} \right) \quad /17в/$$

б/ из условия образования зоны трещин:

$$\Delta\varepsilon_{тр.} = \sqrt[3]{R_t^2} \left( \frac{\varphi}{K_1} + \frac{\xi}{K_2} \right) \quad /17г/$$

Действительные тангенциальные напряжения, с учетом их релаксации, равны:

$$\sigma_T = \frac{3V[\Delta\varepsilon]}{2\left(\frac{1+V}{K_1} + \frac{1-V}{K_2}\right)} = R_p \quad /18/$$

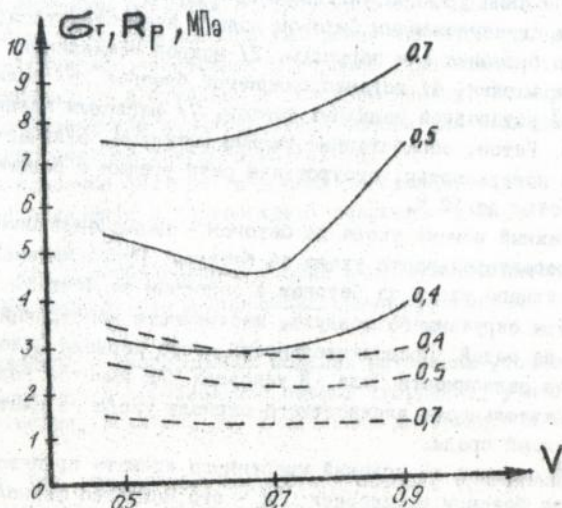


Рис. 5 Изменение напряжений  $\sigma_T$  и прочности  $R_p$  от насыщения бетона крупным заполнителем — — — — — напряжения; — — — — — прочность бетона.

Предельная растяжимость материала с заданными упруго-пластическими свойствами  $[\Delta \epsilon]^{max}$  определяется по формуле:

$$[\Delta \epsilon]^{max} = \frac{2R_p S}{3V K_1} \left[ (1+V) + \frac{1-V}{n} \right] \quad /19/$$

На основе экспериментальных и теоретических исследований разработаны технологические мероприятия для повышения трещиностойкости бетона в условиях сухого жаркого климата. Эти мероприятия заключаются в выборе материалов, а также методов и сроков ухода за свежесделанным бетоном.

Уход, помимо поддержания требуемого температурно-влажностного режима во весь период твердения, должен также предохранить выполненные элементы от пересушки, перегрева на солнце, размыва дождем и др. Основным требованием, предъявляемым к уходу за бетоном, является его защита от чрезмерного изменения начальной водосодержания, а также существенного отклонения от нормальной /около 18-20°C/ температуры. Эти требования являются основными в условиях сухого жаркого климата.

В действующих нормах производства бетонных работ СНиП 3.09.01-85 мало внимания уделено регламентации ухода за бетоном. В условиях СЖК уход за свежесделанным бетоном должен осуществляться: 1/ покрытием из мокрого брезента или парусины, 2/ мокрой мешковиной, 3/ мокрыми соломенными матами, 4/ водонепроницаемой бумагой, 5/ полиэтиленовой пленкой, 6/ установкой защитных тентов, 7/ разливом пленкообразующих материалов. Бетон, обработанный такими методами, отличается высококачественной поверхностью, отсутствием сети трещин и повышенной марочной прочностью до 12 %.

Важный момент ухода за бетоном - назначение минимально достаточной продолжительности ухода за бетоном. Продолжительность основного влажностного ухода за бетоном в основном зависит от трех факторов: температуры окружающего воздуха, массивности конструкций и степени охлаждения ее водой. Продолжительность этого периода целесообразно определять по зависимости Сола. В условиях СЖК имеется возможность сократить продолжительность влажностного периода ухода за счет теплоусвоения от окружающей среды.

В отличие от условий умеренного климата принято положение, что уход за бетоном в условиях СЖК - это комплекс технологических мероприятий, направленных на защиту уложенного бетона от неблагоприятных воздействий среды /начальный уход/, формирование структуры при оптимальном температурно-влажностном режиме твердения бетона /основной уход/ и защиту от развития чрезмерных структурных напряжений и трещинообразова-

ция /заключительный уход/.

На основании проведенных исследований установлена продолжительность влажностного заключительного ухода в зависимости от средней температуры среды и массивности изделий. Поэтому влажностный уход в условиях сухого жаркого климата сокращается пропорционально зрелости бетона, а заключительный уход увеличивается пропорционально модулю открытой поверхности.

Технологические рекомендации по повышению трещиностойкости бетона использованы ливанской и иорданской фирмами "Lebanse International Affairs Co.S.R.L." и "Qassem Abu Al-Haija for const-  
muction Establishment Roads and Buildings" для проектирования бетонных и железобетонных конструкций и защиты бетона в жаркий период года. Получен технико-экономический эффект и получены протяженные бетонные элементы без сети трещин.

### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Раскрыт механизм формирования структуры цементного камня, как коллоидного капиллярно-пористого тела, в объеме которого под действием сорбционно-десорбционных процессов возникает критическое напряженное состояние, уравновешенное в различных объемах материала.

2. Основным фактором развития деформативности и циклического напряженного состояния в бетоне летнего твердения является прогрессивное изменение гигрометрического состояния материала в сочетании с циклическим действием температуры в суточном и сезонном циклах. Экспериментами установлены влаго-физические характеристики бетона для инженерного прогнозирования гигрометрии твердого материала.

3. Выявлены основные факторы усадочных деформаций бетона в условиях сухого жаркого климата и подтверждено повышение деформативности материала в 2,0 - 2,7 раза.

4. Доказано, что прогнозирование усадки и ползучести бетона летнего твердения можно производить экспоненциальными уравнениями однотипного характера.

5. На однослойной и многослойной моделях материала уточнено напряженное состояние бетона в произвольный период твердения, учитывая вид напряженного состояния, величину действительных деформаций и характеристики бетона.

6. Доказано, что структурные напряжения бетона, вычисленные на основании осесимметрической задачи теории упругости, требуют уточнения путем использования коэффициента релаксации напряжений.

7. Разработан физико-аналитический метод учета релаксаций струк-

турных напряжений как упруго-вязко-пластического тела и произведено сравнение расчетных и опытных структурных напряжений, и установлен коэффициент трещинообразования с В/Ц от 0,4 до 0,7.

8. Доказано, что в условиях ЖЖ при отсутствии специальных мер защиты бетона, его трещинообразование неизбежно при В/Ц 0,4 и степени насыщения крупным заполнителем  $V > 0,85$ .

9. Анализом роста тангенциальных напряжений вокруг зерен заполнителя с учетом их релаксации доказана преимущественная вероятность возникновения зоны трещин взамен зоны пластического течения.

10. Из условия трещинообразования бетона от развития его температурно-пластических деформаций определена зона оптимального насыщения бетона крупным заполнителем, величины предельных и допускаемых деформаций усадки, а также допускаемое иссыхание бетона крупным заполнителем для заданных структурных характеристик бетона.

11. Развитие зоны трещинообразования материала приводит к изменению его физико-механических характеристик, в частности, модуля упругости бетона, установленного для условий сухого жаркого климата.

12. Вычисленные структурные напряжения и кинетика их развития во времени соответствуют опытным величинам изменения прочности и упругости бетона в жаркий период года.

13. Анализ развития напряженного состояния во времени послужил основой для разработки технологии получения бетонов заданной трещиностойкости в условиях сухого жаркого климата.

14. Предложено уход за бетоном в жаркий период года производить в три этапа: а/ начальная защита формованного материала; б/ влажностный режим гидратационного твердения для получения заданной прочности и в/ заключительная защита бетонных элементов от развития трещинообразования.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

- Использование отходов горнообогатительных комбинатов в сельском строительстве // Тез. докл. Международной научно-технической конференции "Повышение долговечности и эффективности работы конструкций сельскохозяйственных зданий и сооружений", Челябинск, 1992 г. / соавт. Пунагин В.Н. и др. /.

- Влияние ухода за бетоном на долговечность конструкций сельскохозяйственных объектов // Тез. докл. международной научно-технической конференции, Челябинск, 1992 /соавт. Пунагин В.Н. и др. /.

- Импульсный способ тепловой обработки // Тез. докл. I международной научно-технической конференции "Материалы XXI века", Днепронетровск, 1992 г. /соавт. Пунагин В.Н. и др. /.

- Определение оптимальной дозировки добавки в бетонной смеси //

Сб. научных трудов ДИСИ "Научные основы строительства", Киев, УМК ВО, 1993 г. /соавт. Пунагин В.Н., Рябошапка А.Н./.

- Влияние гигрометрии на свойства бетона в условиях сухого жаркого климата // Сб. научных трудов ДИСИ "Научные основы строительства", Киев, УМК ВО, 1993 г. /соавт. Пунагин В.Н./.

- Суперпластификаторы для бетонных смесей на основе органических соединений // Тез. докл. научно-технической конференции "Теория и практика применения суперпластификаторов в композиционных строительных материалах", Пенза, 1993 г. /соавт. Пунагин В.Н., Рябошапка А.Н./.

- Органические соединения как суперпластификаторы для бетонных смесей // Тез. докл. международного семинара "Анализ и оптимизация грубогетерогенных композиционных материалов", Одесса, 1993 г. /соавт. Пунагин В.Н., Рябошапка А.Н./.

- Объемные деформации бетона в условиях сухого жаркого климата // Доклад на 45 научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников, аспирантов и соискателей, ДИСИ, Днепропетровск, 1993 г.

- Цементы для применения в условиях сухого жаркого климата // Сб. научных трудов ДИСИ "Интенсификация будівництва", Киев, УМК ВО, 1994 г.

- Вплив навколишнього середовища на тріщиностійкість бетону // Збірник наукових праць ДІБІ, 1994 р. /співавт. Пунагин В.М., Лебедев О.В./.

- Технологія неармованих труб віброударно-перистальтичного пресування // Зб. наукових праць ДІБІ, 1994 р. /співавт. Пунагин В.М. та ін./

*В.М. Пунагин*

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

Подписано к печати 10.02.94г. формат 60x84 1/16,  
ул.печ.л.2,25, заказ 40, тираж 100, ДИИ

461767

AB 29.480

**AB 29.480**