

ПОЛТАВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Магди Шариф Салих Али



Работа монолитных железобетонных конструкций  
в условиях тропического климата

Специальность 05.23.01 — Строительные конструкции,  
здания и сооружения

### А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Полтава — 1994



Диссертацией является рукопись

Работа выполнена в Харьковском государственном техническом университете строительства и архитектуры.

Научный руководитель — кандидат технических наук,

профессор Фомин С.Л.

Официальные оппоненты:

1. доктор технических наук, профессор Кричевский А.П.

2. кандидат технических наук, с.н.с. Бамбура А.Н.

Ведущая организация — ПромстройНИИпроект (г.Харьков)

Защита диссертации состоится "20" декабря 1994г. в 14 часов на заседании специализированного ученого совета К 068.46.01 "Строительные конструкции, здания и сооружения" при Полтавском техническом университете по адресу: 314601, г.Полтава, проспект Первомайский, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан "19" ноября 1994г.

Ученый секретарь

специализированного совета,

кандидат технических наук, доцент

 Бондарь В.А.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00777209 (W)

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. К числу важнейших направлений повышения технико-экономического уровня строительства относится разработка новых строительных конструкций на основе совершенствования методов расчета и достоверного учета внешних воздействий. Одними из наиболее распространенных являются климатические температурно-влажностные воздействия, которые наиболее интенсивны в районах с жарким климатом. Актуальность темы обуславливается сложностью проектирования и строительства в аридной зоне, ввиду недостаточной изученности проблемы. В диссертации поставлена задача изучения напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций в условиях тропического климата, в том числе республики Судан, большая часть которого расположена в области 5 тропического пояса III по международной классификации, характеризующейся высокой температурой воздуха (35-40°C) и низкой относительной влажностью (10-13%). Как показывают натурные обследования, довольно часто конструкции имеют повреждения, связанные с напряжениями температурно-усадочного происхождения, на которые в свою очередь накладываются напряжения от сдерживания общих перемещений зданий и сооружений грунтом основания. Поэтому разработка методик расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов, новых конструктивных решений, принципов проектирования и защиты от климатических воздействий является актуальной научной задачей.

Рассматриваемые методики отвечают поставленным перед строительной отраслью Украины задачам по совершенствованию железобетонных и каменных конструкций в связи с пересмотром нормативных показателей теплозащиты.

Целью работы является экспериментально-теоретическое исследование влияния температурно-влажностной среды тропического климата на процессы тепло- и влагопереноса в бетонных и железобетонных монолитных конструкциях, исследование в них напряжений и усилий, разработка методики их расчета, конструирования с учетом нелинейности физико-механических характеристик.

Автор защищает:

- результаты экспериментальных исследований влагофизических характеристик тяжелого бетона, методику определения коэффициентов влагопроводности и влагоемкости путем решения инверсной задачи неизотермической влагопроводности;
- методику численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений тепло-влажноперееноса для прямоугольного сечения с применением консервативной конечно-разностной схемы, алгоритм и программу расчета на IBM PC/AT;
- методику расчета, алгоритмы и программы на IBM PC/AT собственных температурно-влажностных напряжений в том числе с учетом полной диаграммы "напряжение-деформация" бетона и арматуры;
- результаты математического моделирования напряженно-деформированного состояния в системе "железобетонный элемент-основание" при температурно-влажностных воздействиях;
- способ снижения температурно-усадочных усилий в строительных конструкциях;
- результаты внедрения разработанных методик.

Научная новизна работы:

- предложены уточненные зависимости влагофизических характеристик тяжелого бетона, применяемого в тропическом климате Судана от температуры и влажности; разработана методика

идентификации влагофизических характеристик бетонов путем численного решения инверсной неизотермической нестационарной задачи влагопроводности в интерактивном режиме;

– разработана методика определения нестационарных двумерных температурных и влажностных полей в сечениях бетонных элементов с учетом изменчивости характеристик влагопереноса на основе консервативной конечно-разностной схемы, составлены алгоритм и программа расчета на IBM PC/AT в среде Turbo C;

– разработана методика расчета собственных температурно-влажностных напряжений, в том числе при учете полной диаграммы  $\sigma(\epsilon)$ , разработаны алгоритм и программы расчета на IBM PC/AT в среде Turbo Pascal;

– выявлены особенности напряженно-деформированного состояния в системе "железобетонный элемент—основание" при температурно-усадочных деформациях;

– предложен и экспериментально обоснован новый способ снижения температурно-усадочных усилий в строительных конструкциях.

#### Практическое значение результатов работы:

– разработанные предложения по экспериментальному определению влагофизических характеристик бетона позволили получить данные о зависимостях коэффициентов влагопроводности и влагоемкости от температуры и влажности для бетона, применяемого для монолитных конструкций в Судане;

– разработанные рекомендации по расчету распределения температуры, влажности, напряжений и деформаций в элементах железобетонных конструкций повышают их надежность эксплуатации в условиях тропического климата;

– предложенный способ снижения температурно-усадочных усилий в железобетонных и каменных строительных конструкциях, зданиях и сооружениях позволяет снизить затраты строительства, упростить конструктивные решения;

– предложения по расчету потерь предварительного напряжения арматуры существенно уточняют их величину в зависимости от климатических условий.

#### Реализация работы.

Результаты проведенных разработок внедрены в проекты зданий и сооружений, предназначенных для работы в тропическом климате Судана и в умеренном климате Украины: здания торгового центра в г.Хартуме, здания гостиницы в г.Аконолинга, жилого корпуса в г.Харькове, 9-ти этажного жилого дома в г.Купянске, 5-ти этажного здания в г.Белгороде и др.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались:

– На 47, 48 и 49 научно-технических конференциях преподавателей и студентов Харьковского инженерно-строительного института с участием представителей производства и профильных ВУЗов. г.Харьков, 1992, 1993 и 1994 гг.

– На международной конференции "Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций". г.Белгород, 1993г.

– На международной научно-практической конференции "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". г.Сумы, 1994г.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, основных выводов, списка литературы и приложения.

Работа содержит 98 страниц машинописного текста, 77 рисунков, 5 таблиц, библиографии из 178 наименований, 2 приложения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе изложены краткие сведения о состоянии и условиях работы железобетонных конструкций в тропическом климате. В результате исследований А.А. Ахмедова, А.П. Кричевского, Г. Липсмайера, С.А. Миронова и Е.Н. Малинского, В.П. Пунагина, А.Н. Римши, Б. Саини, В.Н. Самойленко, О.Г. Тарасова, Е.Н. Щербакова, Т.М. Юмоля, З.Ю. Юсупова, Я. Ясичака и др. установлено, что возникновение температурно-влажностных деформаций от климатических воздействий, неравномерно распределенных по сечению элементов, приводит к появлению внутренних и наружных трещин; попеременное увлажнение и высушивание поверхностных слоев — к выкрашиванию и отслоению бетона, изменению физико-механических характеристик бетона.

Оценка влияния климатической среды состоит в определении температуры и влажности в сечениях элементов, определении свободных деформаций усадки и набухания, анализа напряженно-деформированного состояния.

Опыты показывают, что в диапазоне климатических температур расчет ее распределения может проводиться на основе решения линейного дифференциального уравнения теплопереноса:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\lambda}{c\gamma} \nabla^2 t \quad (1)$$

Теплообмен с окружающей средой определяется граничными условиями 3-го рода

$$\lambda \left. \frac{\partial t}{\partial n} \right|_c = \alpha(t_{c,ext} - t_{ext}), \quad (2)$$

где  $t_{c,ext}$  — температура поверхности,  $t_{ext}$  — температура воздуха,  $\alpha$  — коэффициент теплообмена.

Расчету температурно-влажностных полей в строительных конструкциях из тяжелого бетона посвящены работы С.В. Александровского, А.В. Белова, В.Н. Богословского, П.И. Васильева, А.А. Гвоздева, А.В. Лыкова, А.Н. Могилата, Н.Е. Прокоповича, Е.И. Тертичника, К.Ф. Фокина, С.А. Фрида и др.

Расчетное распределение влажности по линейному уравнению значительно отличается от опытного. Это связано с существенной изменчивостью характеристик влагопереноса от температуры и влажности, что приводит к нелинейному дифференциальному уравнению влагопроводности, полученному В.Н. Богословским и уточненному С.Л. Фоминым:

$$\eta(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \gamma \frac{\partial [\eta(\theta, t)] \theta}{\partial \tau} = \nabla \chi(\theta, t) \nabla \theta \quad (3)$$

Влагообмен с окружающей средой определяется граничными условиями 3-го рода

$$\chi \left. \frac{\partial \theta}{\partial n} \right|_c = \beta_w (\theta_{c,ext} - \theta_{ext}), \quad (4)$$

где  $\theta_{c,ext}$  — потенциал влажности поверхности;  $\theta_{ext}$  — потенциал влажности воздуха,  $\beta_w$  — коэффициент влагообмена.

Анализ результатов опытов показывает, что для всех видов тяжелых бетонов может быть принята единая форма зависимости:

$$W_{rel} = W_b / W_{b,max} = f(\theta, t). \quad (5)$$

Для бетонов новых составов рекомендуется проведение поверочных опытов, например, методом неизотермической разрезной колонки, разработанным В.Н. Богословским, А.М. Микшером, Е.И. Тертичником. Идентификация влагофизических характеристик может быть проведена путем решения инверсной зада-

чи влагопроводности численным или аналоговым методами, разработанными Ю.М. Мацевитым.

Методам решения нелинейных уравнений тепло-влажнопереноса посвящены работы Л.А. Коздобы, Дж. Кранка, А.В. Лыкова, Ю.М. Мацевитого, Н. Фридмана и др. Опыт их численного решения показывает, что это требует большого объема памяти и быстройдействующих ЭВМ, например, таких, как ЕС 10-45. В настоящее время эти машины во многих предприятиях демонтированы, в связи с чем возникает потребность в разработке методики расчета с использованием широко распространенных IBM PC/AT.

В работах Ахмедова А.А., Бахаэддина Мекки, Фомина С.Л. разработана методика исследования влажностных деформаций бетона, изложены результаты многочисленных экспериментов с различными составами бетонов и разработаны расчетные формулы для определения деформаций усадки и набухания при различных температурно-влажностных условиях.

Исследованию температурно-усадочных напряжений посвящены работы С.В. Александровского, Н.Х. Арутюняна, А.Я. Барашикова, А.В. Белова, Б. Боли и Дж. Уэйнера, В.М. Бондаренко, П.А. Васильева, Г.Д. Вишневого, А.А. Гвоздева, А.Б. Гольшева, А.П. Кричевского, Г.Н. Маслова, Э. Мелана и Г. Паркуса, А.Ф. Милованова, Н.Е. Прокоповича, А.Р. Ржаницына, В.Н. Самойленко, А.П. Трапезникова, И.Н. Улицкого, С.Л. Фомина, С.Е. Фрайфельда, С.А. Фрида и др.

Опыт расчета температурно-усадочных напряжений показывает, что в большинстве случаев игнорирование полной диаграммы  $\sigma(\epsilon)$  для бетона и арматуры приводит к переоценке этих напряжений. Определением параметров полной диаграммы и методикам расчета посвящены работы Байкова В.Н., Вахнен-

ко П.Ф., Горбатова С.В., Димитрова З.А., Голышева А.Б., Бачинского В.Я., Морина А.А., Бамбуры А.Н., Гущи Ю.П., Рюша Х., Эванса Х. и Марате С., Лемыша Л.А., Кричевского А.П. и др., на основе которых разработаны предложения к нормативным документам. Расчеты температурных напряжений в бетонных и железобетонных конструкциях на упругом основании посвящены работы С.В. Александровского, Н.Х. Арутюняна и Б.Л. Абрамяна, П.Е. Васильева, И.А. Забелло, Г.Н. Маслова, И.К. Никитина, И.Е. Прокоповича и др. в предположении их защемления на уровне подошвы фундамента. Для выявления более полной картины напряженно-деформированного состояния следует рассмотреть систему "здание-основание", что позволит выбрать оптимальный вариант конструктивного решения.

В результате анализа намечены задачи исследования.

Во второй главе уточнена методика определения теплофизических характеристик бетонов методом неизотермической разрезной колонки. С помощью этого метода было проведено поверочное испытание бетона, широко применяемого в Судане при строительстве монолитных железобетонных зданий и сооружений. Образцы — пластины 70x70x20 мм, изготовленные в г.Хартуме, выдерживались в опалубке 7 дней, затем были обернуты мокрой тканью, запаяны в пластиковые пакеты и в таком состоянии доставлены на Украину. Бетонная колонка была выполнена из 13 пластинок, между которыми размещались термодатчики ХК, датчики потенциала влажности и пакеты фильтровальной бумаги. Измерение температуры с точностью до 0,1°C проводилось с помощью электронного термометра типа ТТЦ-01.

Датчики потенциала влажности представляют собой листы электропроводной бумаги размером 70x70 мм, к двум противоположным сторонам которых приклеены шины из латунной фольги.

При изменении влажности изменялось электрическое сопротивление бумаги, которое измерялось мостом постоянного тока R-363.

Идентификация коэффициента  $\chi(\theta, t)$  проведена путем набора решений прямых задач влагопроводности с заданными значениями коэффициентов и сопоставления результатов с экспериментальными функциями  $\chi(\theta, t)$  до достижения минимума невязки между экспериментальным и расчетным значением потенциала влажности. Методика учитывает неизбежную утечку влаги через гидроизоляцию при длительном испытании путем подбора эквивалентных коэффициентов влагоотдачи боковой и торцевой поверхностями.

Выявлено, что зависимость (5) удовлетворительно отражает влагоемкость исследуемого бетона; коэффициенты влагопроводности уточнены.

Разработанную методику целесообразно применять при тестовых испытаниях новых составов бетонов.

В третьей главе разработана уточненная методика численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений тепло-влагопереноса, которая описывает процессы распространения тепла и влаги в сечениях бетонных и железобетонных элементов прямоугольной формы при двумерных нестационарных потоках.

Учитывая существенную изменчивость коэффициентов влагопроводности, влагоемкости и влагообмена от температуры и потенциала влажности, а также опыт расчета традиционными конечно-разностными методами, показавший возникновение монотонно возрастающей ошибки — статической неустойчивости, дифференциальное уравнение влагопереноса преобразовано так, что искомыми переменными являются консервативные величины — относительная влажность и ее потенциал. Это уравне-

ние отражает сущность физического закона сохранения массы и позволяет сохранить интегральные характеристики переноса в конечно-разностной схеме, что существенно повышает точность решения.

Применение консервативной конечно-разностной схемы повышает точность также за счет прямого использования зависимости  $W(\theta, t)$ , что исключает процедуру численного дифференцирования для определения коэффициента влагоемкости.

Граничные условия третьего рода (2) и (4) для задачи тепло-влажнопроводности в железобетонных конструкциях определяются на основе температурно-влажностного режима района строительства, который включает в себя задание хода среднемесячных температур  $t_{ext}$  и среднемесячных потенциалов влажности воздуха  $\theta_{ext}$  на протяжении года, а также среднегодовые температуру и потенциал влажности воздуха.

Систему уравнений тепло-влажноперевода (1)-(3) представим в виде

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t \quad (6)$$

$$\frac{\partial W}{\partial \tau} = \frac{1}{\gamma} \nabla(\chi \nabla \theta) \quad (7)$$

В уравнении (7) коэффициент влажнопроводности  $\chi$  и потенциал влажности  $\theta$  можно рассматривать как заданные функции  $W$  и  $t$ .

Область представим в виде прямоугольника со сторонами  $L_x = \Delta X N$ ,  $L_y = \Delta Y M$

Использував интегро-интерполяционный метод А.Н. Тихонова и А.А. Самарского, построим следующий консервативный пятиточечный шаблон на равномерной сетке для уравнения (6)

$$\frac{dT_E}{d\tau} = a \frac{1}{\Delta x^2} (T_F - 2T_E - T_D) + a \frac{1}{\Delta y^2} (T_H - 2T_E - T_B) \quad (8)$$

и уравнения (7)

$$\begin{aligned} \frac{dW_E}{d\tau} = & \frac{1}{2\gamma\Delta x^2} [(\chi_F + \chi_E)(\theta_F - \theta_E) - (\chi_D + \chi_E)(\theta_E - \theta_D)] + \\ & + \frac{1}{2\gamma\Delta y^2} [(\chi_H + \chi_E)(\theta_H - \theta_E) - (\chi_B + \chi_E)(\theta_E - \theta_B)] \end{aligned} \quad (9)$$

Систему  $2 \cdot N \cdot M$  уравнений для величин  $W_e$ ,  $T_e$ , зависящих от времени, будем решать методом Рунге-Кутты 4-го порядка.

Граничные условия третьего рода на контуре  $C$ : (2), (4) преобразуем следующим образом.

Производную  $\frac{\partial \theta}{\partial n}$  аппроксимируем выражением

$$\left. \frac{\partial \theta}{\partial n} \right|_{x-P} \approx \frac{\theta_R - \theta_L}{\Delta x}, \text{ а значение функции } \theta \Big|_{x-P} \approx \frac{1}{2}(\theta_R + \theta_L), \text{ тогда}$$

$$\frac{\theta_R - \theta_L}{\Delta x} = \frac{\beta}{\chi} \left( \frac{\theta_R - \theta_L}{2} \right) \left( \frac{1}{2}\theta_L + \frac{1}{2}\theta_R - \theta_{ext} \right) \quad (10)$$

При заданном  $\theta_L$  находим  $\theta_R$  из нелинейного уравнения (10) методом простых итераций со стартовым значением  $\theta_R = \theta_L$ .

Программу расчета реализуем в виде пяти блоков. В основной программе (блок 0) задаем геометрические характеристики в безразмерных единицах.

Начальные условия. По температуре и потенциалу влажности начальное распределение аппроксимируется сочетанием уравнения плоскости и функций ошибок Гаусса:

$$T_0(x, y) = ax + by + c + \alpha \exp\left[-\frac{(x - x_c)^2}{\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{(y - y_c)^2}{\sigma_y^2}\right] \quad (11)$$

Таким образом задаются параметры  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $x_c$ ,  $y_c$ ,  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ .

**Блок 1** предназначен для очистки экрана, проверки наличия параметров при вызове программы, проверки данных на коррек-

тность размещения массивов в памяти, внесения вспомогательных величин.

Начальные условия задаются для  $\theta$ , а задача решается для  $W$ , поэтому производится переход в начальных условиях от  $\theta$  к  $W$  путем интерполирования по таблице  $W(\theta, t)$ .

**Блок 2.** В блоке производится вычисление искомых функций  $t$  и  $W$  в узлах сетки путем решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка (8), (9) методом Рунге-Кутта четвертого порядка, который является дискретизацией по явной схеме. Применение метода Рунге-Кутта вызвано ограниченностью машинных ресурсов IBM PC (объемом памяти и относительно низким быстродействием) при решении двумерной динамической нелинейной задачи неявным способом. Кроме того, явная схема позволяет избежать трудности, связанные с возникновением на определенном временном слое плохо обусловленной матрицы соответствующей системы линейных алгебраических уравнений при итерационном способе решения неявной конечно-разностной задачи. Возникающая в методе Рунге-Кутта численная неустойчивость подавляется выбором достаточно малого шага по времени оператором в диалоговом режиме. (Появление неустойчивости легко контролируется визуально — возникновением сильно немонотонного поведения искомых функции).

Вывод узловых температур  $t_{i,j}$  и потенциалов влажности  $\theta_{i,j}$  производится в блоке вывода 0.

Значение искомых функций на границах области принимается равным полусумме значений в законтурной и ближайшей внутренней точках.

Программа функционирует под управлением интерактивной оболочки. Оператор IBM в ходе сеанса работы визуально контролирует вычислительный процесс. В случае проявления

неустойчивости имеется возможность приостановить вычислительный процесс, изменить шаг интегрирования по времени и возобновить вычисления. Имеется возможность "заморозить" значение температурного либо влажностного поля, сохранить промежуточные результаты, просмотреть на экране графики распределения температуры и влажности в произвольных сечениях области сетки по направлениям осей X и Y.

Разработанная методика позволила учесть зависимости влагообменных характеристик при анализе нестационарных полей влажности в неизотермических условиях.

В четвертой главе разработана методика расчета собственных напряжений при вынужденных деформациях с учетом зависимости модуля упругости, коэффициентов линейного расширения, усадки и ползучести от температуры и влажности.

При учете реологических свойств бетона связь между напряжениями и деформациями принимается по теории старения.

При кратковременном нагреве и одномерных тепловом и влажностном потоках напряжения определяются численным методом. Сечение элемента представляется в виде отдельных полонок, в каждой из которых принимается постоянная температура  $t_{bi}$  и влажность  $W_{bi}$ . Связь между напряжениями и деформациями в бетоне принимается в виде полной диаграммы ( $\sigma - \epsilon$ ) с ниспадающей ветвью, описываемой полиномом 5-й степени в соответствии с рекомендациями НИИСКА.

Для средних сечений бруса принимается гипотеза плоских сечений. Деформации, вызывающие собственные напряжения в бетоне и арматуре, определяются разностью между деформациями плоского сечения и свободными температурно-усадочными деформациями.

$$\eta = \frac{\epsilon_b}{\epsilon_{bm}} = \frac{1}{\epsilon_{bm}} [\epsilon_{tot} - (1/\gamma)_{tot,j} Y_{bi} - \epsilon_{tot,j}] \quad (12)$$

Напряжения в арматуре определяется выражением

$$\sigma_i = E_i \left[ (\epsilon_{\text{tot},i} + (1/r)_{\text{tot},i} Y_{ii} - \epsilon_{ii}) - \epsilon_{sp} \right] + \Delta\sigma_i \quad (13)$$

Значения относительного удлинения оси центра тяжести приведенного сечения  $\epsilon_{\text{tot}}$  и ее кривизны  $(1/r)_{\text{tot}}$  определяются из решения двух уравнений равновесия. С учетом полной диаграммы получаем систему двух нелинейных алгебраических уравнений:

$$R_b \sum_{i=1}^n A_{bi} \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k + E_i \sum_{i=1}^n A_{ii} \left[ (\epsilon_{\text{tot},i} + (1/r)_{\text{tot},i} Y_{ii} - \epsilon_{ii}) - \epsilon_{sp} \right] + \Delta\sigma_i = 0 \quad (14)$$

$$R_b \sum_{i=1}^n A_{bi} Y_{bi} \sum_{k=1}^5 a_k \eta^k + E_i \sum_{i=1}^n A_{ii} Y_{ii} \left[ (\epsilon_{\text{tot},i} + (1/r)_{\text{tot},i} Y_{ii} - \epsilon_{ii}) - \epsilon_{sp} \right] + \Delta\sigma_i = 0 \quad (15)$$

Решение этой системы проводим итерационным методом. В качестве первого приближения решаем линейную задачу. Далее, найденное значение  $(1/r)_{\text{tot}}^I$ , подставляем в уравнение (14) и получаем одно нелинейное алгебраическое уравнение с одним неизвестным  $\epsilon_{\text{tot}}^{II}$ , которое решаем методом дихотомии. Найденное значение  $\epsilon_{\text{tot}}^{II}$  подставляем в уравнение (15), решение которого также выполняем методом дихотомии. Итерации повторяются до соблюдения заданной точности.

По разработанному алгоритму составлена программа расчета на IBM PC/AT в среде Turbo-Pascal.

Проведены расчеты напряженно-деформированного состояния железобетонной плиты с симметричным армированием при нелинейном распределении температуры и влажности по высоте сечения. Получено, что линейная постановка переоценивает величины растягивающих напряжений в бетоне.

Результаты использованы для учета климатических и технологических условий среды на потери предварительного напряжения арматуры. Предложена методика, основанная на аппрок-

симиции результатов собственных экспериментальных исследований и литературных данных эмпирическими зависимостями.

Численный анализ показывает, что температура и влажность среды влияют на величину потерь в достаточно широком диапазоне. С увеличением температуры, подвижности бетонной смеси и прочности бетона потери увеличиваются. Разработанная методика позволила также аналитически описать выявленный в натурном эксперименте факт увеличения усадки (потерь) в зимне-осенний период в отличие от традиционного мнения о максимальной ее величине в наиболее жаркое время.

Пятая глава посвящена оценке напряженно-деформированного состояния в системе "железобетонный элемент-основание" при температурно-усадочных деформациях путем численного моделирования напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов. Здание представлено блоком размерами 20х3 м, из прямоугольных конечных элементов в виде балок стенок размерами 1х1 м, толщиной 5 см. Упругое полупространство задано прямоугольной областью длиной 30 м, высотой 10 м.

Анализ напряженно-деформированного состояния проводился с помощью программного комплекса ReCon (Reinforced Concrete), разработанного в НИИАССе Госстроя Украины.

Напряженно-деформированное состояние возникало при охлаждении бетонного массива на температуру 100°С. (Рис.).

Помимо напряженного состояния в сплошном массиве, рассмотрены три серии с температурными швами в здании и в грунте основания.

На основе численного моделирования предложен новый способ снижения температурно-усадочных усилий в промышленных и гражданских зданиях и сооружениях, надземных и подземных конструкциях большой протяженности (заявка N94031437

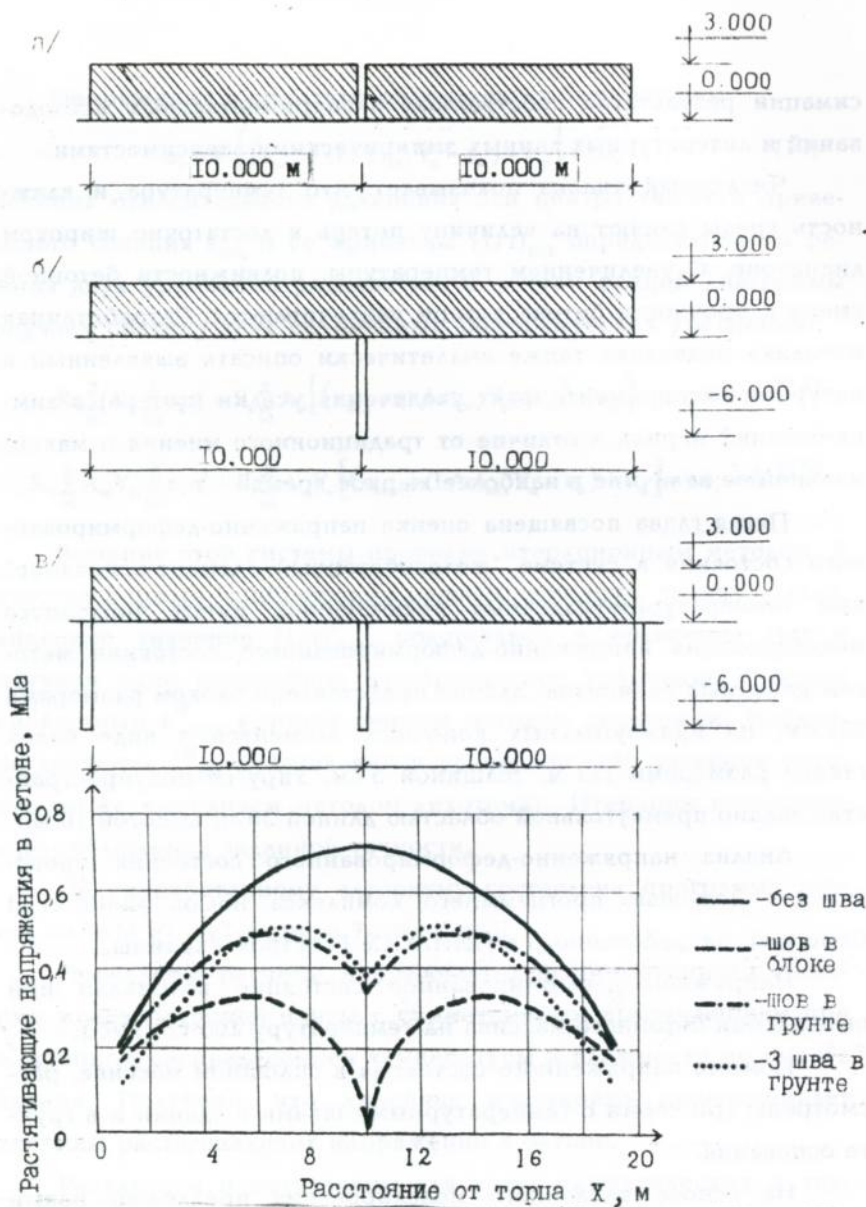


Рис. Напряженно-деформированное состояние в системе "железобетонный элемент-основание"

а) Шов в блоке. б) Шов в грунте. в) 3 шва в грунте.

от 5 сентября 1994г). Способ состоит в устройстве температурно-усадочного шва в грунте основания в виде траншеи, размещаемой между отдельно стоящими фундаментами или под сплошными, например, под ленточным фундаментом и заполненной упруго-податливым материалом.

Известные способы снижения температурно-усадочных усилий в зданиях путем устройства в надземной их части температурно-усадочного шва от кровли до фундамента, который разделяет перекрытия и стены, предполагает устройство парных колонн и парных балок по ним, т.е. большой расход дополнительных конструктивных элементов.

Предложенный способ позволяет снизить затраты строительства, упростить конструктивные решения. Способ может быть применен как при новом строительстве, так и при реконструкции.

Возможность осуществления способа подтверждена результатами численного моделирования, а также экспериментальными исследованиями.

Внедрение результатов разработок осуществлено в проектах зданий и сооружений, предназначенных для работы в тропическом климате Судана и в умеренном климате Украины.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Уточнена методика определения теплофизических характеристик бетонов методом неизотермической разрезной колонки.

Разработана конструкция электрических датчиков потенциала влажности.

2. Предложена методика идентификации характеристик влагопереноса путем численного решения прямой задачи влагопроводности по разработанной программе в интерактивном режиме с применением сглаживания экспериментальных функций методом подбора с минимизацией функционала невязки.

Методика учитывает неизбежную утечку влаги через гидроизоляцию при длительном испытании путем подбора эквивалентных коэффициентов влагоотдачи боковой и торцевой поверхностями.

3. Получены экспериментальные данные о характеристиках влагопереноса тяжелого бетона, применяемого в республике Судан при строительстве монолитных железобетонных конструкций. Выявлено, что обобщенные зависимости  $W=f(\theta,t)$ , удовлетворительно отражают влагоемкость исследуемого бетона; коэффициенты влагопроводности уточнены.

Разработанную методику целесообразно применять при тестовых испытаниях новых составов бетонов.

4. Разработана уточненная методика численного решения системы нелинейных дифференциальных уравнений тепло-влагопереноса, которая описывает процессы распространения тепла и влаги в сечениях бетонных и железобетонных элементов прямоугольной формы при двумерных нестационарных потоках.

Повышение точности достигается путем применения консервативной конечно-разностной схемы.

Разработан алгоритм и программа расчета на IBM PC/AT в среде Турбо С. Программа функционирует под управлением интерактивной оболочки, позволяющей отслеживать процесс решения и в случае проявления неустойчивости приостановить его, изменить шаг интегрирования по времени и возобновить решение.

Программа использована для расчета температурных и влажностных полей в экспериментальных исследованиях и при проектировании реальных железобетонных конструкций.

5. Разработана методика расчета собственных напряжений при вынужденных деформациях с учетом зависимостей модуля упругости, коэффициентов линейного расширения, усадки и ползучести от температуры и влажности, в том числе полной диаг-

раммы "напряжения-деформация" с ниспадающей ветвью для бетона и арматуры.

Разработан алгоритм и составлена программа расчета на IBM PC/AT в среде Turbo Pascal.

Проведенный численный анализ выявил повышение точности результатов расчета напряженно-деформированного состояния с учетом полной диаграммы  $\sigma(\epsilon)$ . Результаты исследований использованы также для расчета потерь предварительного напряжения арматуры в зависимости от температурно-влажностных условий климатической среды.

6. Проведена оценка напряженно-деформированного состояния в системе "железобетонный элемент-основание" при температурно-усадочных деформациях. Выявлены особенности распределения напряжений и усилий в железобетонных и каменных зданиях различной конфигурации при наличии проемов и температурно-усадочных швов.

7. Предложен новый способ снижения температурно-усадочных усилий в строительных конструкциях, в частности, в промышленных и гражданских зданиях и сооружениях, надземных и подземных конструкциях большой протяженности без усложнения конструктивного решения (заявка N94031437 от 5.9.1994г.).

Возможность осуществления способа подтверждена результатами численного моделирования и экспериментальными исследованиями.

8. Результаты настоящей работы внедрены в проектах зданий и сооружений, предназначенных для работы в тропическом климате Судана и в умеренном климате Украины: здания торгового центра в г.Хартуме, здания гостиницы в г.Аконолинга, жилого корпуса в г. Харькове, 9-ти этажного жилого дома в г.Купянске, 5-ти этажном здании в г.Белгороде и др.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гапич А.И., Магди Шариф Салих Али, Абутика Редуан, Фомин С.Л., Расчет сборно-монолитных железобетонных покрытий, работающих в тропическом климате. // Тезисы докладов 47 научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства". Харьков: ХИСИ, 1992. - С. 55.

2. Фомин С.Л., Магди Шариф Салих, Бахаэддин Мекки, Гапич А.И. Особенности работы зданий на температурные воздействия климатической среды. // Тезисы докладов 47 научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства". Харьков: ХИСИ, 1992. - С.56.

3. Фомин С.Л., Бахаэддин Мекки, Салих Али Магди. Определение потерь предварительного напряжения от усадки // Сборник НИИСК, N45, - Киев: Будівельник, 1993. - С.25-28.

4. Фомин С.Л., Баха Эддин Мохамед Мекки, Магди Шариф Салих. Экспериментально-теоретические исследования температурно-влажностных деформаций бетона. // Тезисы докладов Международной конференции "Ресурсосберегающие технологии строительных материалов, изделий и конструкций" Белгород: "Везелица", 1993. - С.88-89.

5. Фомин С.Л., Кулешов Н.Н., Тулер Б.Л., Магди Шариф Салих. Анализ напряженно-деформированного состояния в статически неопределимых конструкциях при пожаре. // Тезисы докладов 48 научно-технической конференции преподавателей и студентов ХИСИ. Харьков: -1993. - С.

6. Бахаэддин Мекки Абдала, Магди Шариф Салих, Фомин С.Л. Напряженно-деформированное состояние бетонных призм в процессе сушки. // Тезисы докладов 48 научно-технической конференции преподавателей и студентов ХИСИ. Харьков: 1993. - С.

7. Фомин С.А., Магди Шариф Салих. Расчет температурно-усадочных напряжений в железобетонных элементах на IBM PC/AT. // Тезисы докладов 49 научно-технической конференции преподавателей и студентов ХГТУСА. Харьков: 1994. - С.172

8. Фомин С.А., Магди Шариф Салих, Гуленко В.В. Решение нелинейных уравнений тепло-влажноперевода в бетонных конструкциях на IBM PC/AT. // Тезисы докладов 49 научно-технической конференции преподавателей и студентов ХГТУСА. Харьков: 1994. - С.172

9. Фомин С.А., Магди Шариф Салих. Идентификация характеристик влажноперевода бетона путем решения инверсной задачи неизотермической влажнопроводности. // Материалы Международной научно-практической конференции "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". Сумы: ИПП "Мрия" ЛТД", 1994. - С.79-80

Магди Шариф Салих Али. Работа монолитных железобетонных конструкций в условиях тропического климата. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 — строительные конструкции, здания и сооружения, Полтавский технический университет, Полтава, 1994.

Защищается рукопись, которая содержит теоретические и экспериментальные исследования влияния температурно-влажностных условий тропического климата на напряженно-деформированное состояние железобетонных конструкций. Разработаны методики расчета температурных и влажностных полей, напряжений и деформаций в сечениях элементов, температурно-усадочных усилий в конструкциях, лежащих на упругом основании. Предложен новый способ снижения усилий в строительных конструкциях, возможность осуществления которого подтверждена

экспериментальными исследованиями. Результаты исследований в проектах зданий и сооружений.

**Ключевые слова**

Тропический климат, температурно-влажностные поля, напряжения, усилия, температурно-усадочные швы.

Magdi Sharif Salih Ali. Constructing work of monolite reinforced concrete under condition of tropical climate. Distarcia in the level of candidate of science, scientific technology in the specialize 05.23.01 in building construction. Poltava university of technology. Poltava, 1994.

Defending manuscript which contains theoretical and experiments researches in the effect of temperature-humidity under conditions of tropical climate in stress-deformation state of reinforced concrete. Developed new method of calculating and identification of temperature and humidity fields, stress and deformation in section elements, temperature force in constructions which lie inelastic foundations. Suggesting new technic to lower the temperature force in building construction, possibilities which are proofed by experiment researches. Results are using in buildings projects.

**Key words**

tropical climate, temperature and humidity fields, stress, forces, expansion joint.

Тип. ХТЗ, Харьков, ул. Северная, 10.  
 Заказ 8-1825, тираж 100, в печ. 14.11.94