

ПОЛТАВСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Баха Элдин Мохамед Мекки

УДК 691.328.1:620.163.3

Работа монолитных железобетонных конструкций
в условиях субэкваториального 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 — 1993

Диссертационная работа выполнена в Харьковском инженерно-строительном институте.

Научный руководитель—кандидат технических наук, профессор
Фомин С.Л.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00815740 (P)

тор технических наук, профессор
чевский А.П.
дидат технических наук, доцент
дченко Г.А.


Ведущая организация—ПромстройНИИПроект (г.Харьков)

Защита диссертации состоится 07 сентября 1993г.
в 14 часов на заседании специализированного совета К 068.48.01
"Строительные конструкции, здания и сооружения" при Полтавском
инженерно-строительном институте по адресу: 314601, г.Полтава,
проспект Первомайский, 24.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.
Отзывы на автореферат просим прислать на имя ученого сек-
ретаря в двух экземплярах, заверенные печатью.

Автореферат разослан "27" 07 1993г.

Ученый секретарь специали-
зированной совета, канди-
дат технических наук, доцент


Бондарь В.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В промышленном и гражданском строительстве республики Судан находят широкое применение монолитные железобетонные конструкции, которые помимо статических и динамических нагрузок испытывают климатические температурно-влажностные воздействия. Большая часть республики расположена в области Ib Субэкваториального климатического пояса II по международной классификации, характеризующейся низкой относительной влажностью воздуха, составляющей 10-13% и средней месячной температурой до 34°C. При таких условиях окружающей среды происходят интенсивные процессы обезвоживания бетона, которые сопровождаются развитием собственных температурно-усадочных напряжений в конструкциях, возникновением температурных усилий в статически неопределимых элементах, образованием трещин. По данным натурных обследований в Судане ряд конструкций имеют повреждения, связанные с возникновением напряженного состояния от температурно-усадочных деформаций.

Важной народно-хозяйственной задачей республики Судан является обеспечение необходимой эксплуатационной надежности строительных конструкций из монолитного железобетона в условиях температурно-влажностных воздействий климатической среды.

Актуальной научной задачей, направленной на совершенствование конструктивных решений из монолитного железобетона, является разработка методик расчета их напряженно-деформированного состояния, принципов проектирования и защиты от температурно-влажностных климатических воздействий.

Выбранное направление соответствует также народнохозяйственным задачам по совершенствованию железобетонных конструкций, намеченных планами научно-исследовательских работ Украины.

Целью работы является изучение особенностей влияния темпе-

ратурно-влажностной среды субэкваториального климатического пояса на процессы тепло-и влагопереноса в бетонных монолитных конструкциях, исследование их напряженно-деформированного состояния, разработка методики расчета и рекомендации по проектированию.

Автор защищает:

- результаты натурных исследований влияния субэкваториального климата на монолитные железобетонные конструкции, результаты экспериментальных исследований температурно-усадочных деформаций бетона в натуральных климатических условиях Судана, предложения по определению температурно-влажностных режимов работы строительных конструкций на территории республики.
- алгоритмы и программы расчета на ПК IBM PC/AT температурно-влажностных полей в сечениях железобетонных элементов.
- методику определения температурно-влажностных деформаций бетона на основе теоретического анализа объемного напряженно-деформированного состояния образцов-призм в процессе сушки.
- результаты экспериментальных исследований усадки и набухания тяжелого бетона фундаментов под турбоагрегаты при различных температурах нагрева.
- результаты экспериментально-теоретических исследований напряженно-деформированного состояния железобетонных монолитных массивных конструкций в условиях субэкваториального климата.
- предложения по учету климатических воздействий Судана при расчете и проектировании монолитных железобетонных конструкций.

Научная новизна работы:

- установлено влияние климатических воздействий на прочность, жесткость и трещиностойкость монолитных массивных железобетонных конструкций в натуральных условиях Судана, выявлены особенности температурно-усадочных деформаций образцов из бетона обследуемых фундаментов, испытанных как в помещении электростанции Buggi

(г.Хартум), так и при наличии солнечной радиации.

- предложены расчетные зависимости годового хода основных параметров среды (потенциала влажности и температуры) для формулирования граничных условий задач тепло- и влагопроводности в железобетонных конструкциях здания и сооружения.

- разработана методика определения температурно-влажностных деформаций бетона, позволяющая существенно упростить испытания и снизить погрешность измерения деформаций.

- предложены зависимости деформация усадки и набухания тяжелого бетона фундаментов под турбоагрегаты от относительной весовой влажности бетона и температуры.

- разработана методика расчета распределения температуры и влажности в сечениях железобетонных элементов с учетом изменчивости характеристик тепло- и влагопереноса в зависимости от температуры и потенциала влажности. Составлены алгоритмы и программа расчета на ПК IBM PC/AT в среде Turbo basic.

- выявлены особенности напряженно-деформированного состояния фундаментов под турбоагрегаты и разработаны предложения по расчету и проектированию монолитных железобетонных конструкций, работающих в субэкваториальном климате.

Практическое значение работы:

- предложены расчетные параметры температурно-влажностных режимов субэкваториального климата; уточнены климатические условия республики Судан и предложены расчетные зависимости годового хода потенциала влажности и температуры для пяти климатических зон.

- получены данные о температурно-влажностных деформациях (температурной усадки - набухания) тяжелого бетона, применяемого для монолитных конструкций Судана.

- разработана методика определения температурно-влажностных

деформация бетона.

- разработаны методики расчета распределения температуры, влажности, напряжений и деформация в элементах железобетонных конструкций. Составлены программы расчета на IBM PC/AT.

- даны предложения по проектированию и расчету монолитных железобетонных конструкций в субэкваториальном климате.

Достоверность результатов подтверждается данными лабораторных и натуральных экспериментов в различных условиях климатических воздействий республики Судан.

Реализация работы.

Результаты теоретических исследований влияния субэкваториального климата на напряженно-деформированное состояние монолитных железобетонных конструкций и экспериментальные данные о характеристиках бетонов, применяемых в Судане, используются государственной фирмой НЕС при совершенствовании решений и методов расчета фундаментов под турбоагрегаты.

Отдельные результаты проведенных исследований внедрены в проект усиления контрфорса коксовой батареи № Авдеевского коксохимического завода, в проект здания, а также при разработке часторебристых конструкций покрытий при одностороннем нагреве.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались:

- На зональной конференции "Пути снижения материалоемкости и стоимости в строительстве при реконструкции здания". г. Пенза, октябрь, 1990г.;

- В ИПИ Промстройпроект "Совершенствование проектных решений промышленных зданий и сооружений на основе использования научных достижений". г. Днепропетровск, сентябрь, 1990г.;

- На научно-технической конференции студентов и преподавателей Харьковского инженерно-строительного института "Совершенствование подготовки специалистов в области строительства и реконструк-

кции зданий и сооружений". г. Харьков, апрель, 1991г.;

- На 47 научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства". г. Харьков, 1992г.;

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

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов и списка использованной литературы. Работа содержит 185 страниц, включая 68 рисунков, 18 таблиц, библиографии из 152 источников и приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование актуальности темы диссертационной работы, приведены общая характеристика работы и основные положения, которые автор выносит на защиту.

В первой главе изложены краткие сведения о состоянии и условиях работы железобетонных конструкций при температурно-влажностных воздействиях климатической среды в районах с жарким климатом. Аридная зона земного шара характеризуется повышенной температурой воздуха до 50°C и поверхности до 80°C, периодом сравнительно низкой относительной влажности наружного воздуха до 9-20%, большими перепадами температуры и влажности в течение суток и в течение года, суховеями и пыльными бурями. Исследованиями А.А. Ахмедова, Б. Саиди, А.П. Кричевского, Г. Липсмаэра, С.А. Миронова, Е.Н. Майнского, В.П. Пумагина, А.Н. Римши, В.Н. Самойленко, О.Г. Тарасова, Фомина С.Л., Е.Н. Шербакова, Т.М. Юмоль, З.Ю. Кусупова, Я. Ясичакки др. установлено, что возникновение температурно-влажностных деформаций неравномерно распределенных по сечению элементов приводит к появлению внутренних или наружных трещин, попеременное увлажнение и высушивание поверхностных слоев к **выкрашиванию** и отслоению бетона, изменению физико-

-механических характеристик.

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

Расчету температурно-влажностных полей в бетонных и железобетонных конструкциях посвящены работы С.В.Александровского, А.В.Белова, П.И.Васильева, А.А.Гвоздева, А.В.Лыкова, Ш.Н.Плята, А.Н.Могилата, Н.Е.Прокоповича, С.А.Фрида, К.Ф.Фокина, В.М.Штейнберга и др.

Опыты показывают, что в диапазоне изменения климатических температур ее распределение в сечении элементов может быть определено на основе решения линейного дифференциального уравнения теплопереноса. Применение аналогичного уравнения для расчета полей влажности приводит к отклонению от опытного. Решить эту задачу позволяет теория В.Н.Богословского, в которой вводится понятие потенциала влажности ϕ и характеристики влагопереноса: коэффициенты влагопроводности μ , влагоемкости η , влагообмена с окружающей средой β . Для опытного определения потенциала влажности В.Н.Богословским и Е.Н.Тертичником разработана специальная шкала. Экспериментальные исследования С.Л.Фомина показали, что характеристики влагопереноса тяжелого бетона существенно изменяются от температуры и потенциала влажности, в связи с чем дифференциальное уравнение влагопроводности становится нелинейным и требует специальных подходов и способов к его решению. (Л.А. Коздоба, Дж.Кранк, А.В.Лыков, Ю.М.Мацевитый, Н.Фридрих и др.).

Исследования усадочных деформаций проводились С.В.Александровским, А.В.Беловым, О.Я.Бергом, А.В.Гольшевым, И.Н.Заславским и Г.С.Жуком, Т.Л.Ингляндом, А.П.Кричевским, А.Ф.Милловановым, А.В.Путансом, Л.Р.Серых, В.Н.Самойленко, И.Н.Улицким, С.Г.Фарбером,

С.Л.Фоминим, В.Н.Шербаковым, и др. Несмотря на разработанные стандарты и рекомендации методики экспериментального определения вынужденных деформаций обладают рядом неточностей. Одной из причин погрешностей измерения является наличие объемного напряженного состояния в торцевых частях образцов.

Температурно-усадочные напряжения изучались С.В.Александровским, Н.Х.Арутюняном, А.В.Беловым, Б.Боли и Дж.Уэйнером, В.М.Бондаренко, П.А.Васильевым, Г.Д.Вишневским, А.А.Гвоздевым, А.Б.Гольшевым, А.П.Кричевским, Г.Н.Масловым, Э.Меланом и Г.Паркусом, А.Ф.Миловановым, Н.Е.Прокоповичим, А.Р.Ржаницыным, В.Н.Самодялечко, И.Н.Улицким, А.П.Трапезниковым, С.Л.Фоминим, С.А.Фридом и др. При учёте линейной ползучести целесообразно использовать теоремы Н.Х.Арутюняна и методику С.В.Александровского, учёт нелинейной ползучести может быть проведен на основе разработок П.Н.Васильева, С.Е.Фрайфельда, В.М.Бондаренко и А.Л.Шагина.

На основе анализа состояния вопроса определены цели диссертации и сформулированы основные задачи исследований.

Во второй главе уточнены температурно-влажностные режимы работы строительных конструкций в субэкваториальном климате.

По международной классификации Судан расположен в субэкваториальном (Ib) и частично в тропическом (B) климатических поясах. Каждый пояс характеризуется средними значениями температуры и относительной влажности воздуха. Существует также региональная классификация, основанная на обработке результатов метеорологических наблюдения местных обсерваторий. Использование этих данных позволяет существенно уточнить температурно-влажностные режимы работы строительных конструкций. В частности, территория Судана разделена на 5 климатических зон с нормируемыми показателями среды, на основе которых предложены расчетные зависимости годового хода температуры и потенциала влажности, которые являются

основными параметрами граничных условий задач тепло-влажностопроводности в железобетонных конструкциях зданий и сооружений.

В третьей главе разработана методика расчета нестационарных температурно-влажностных полей в железобетонных конструкциях.

В диапазоне климатических температур (10°C–80°C) изменчивость теплофизических характеристик тяжелого бетона от температуры и влажности не велика, поэтому для оценки распределения температуры в сечениях конструктивных элементов можно использовать классическое линейное дифференциальное уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right] \quad (1)$$

Для наиболее распространенной прямоугольной формы поперечного сечения на основе известных решений для одномерного потока и приема перемножения решений составлены программы на IBM PC/AT в среде Turbo Basic определения температурных полей в стенке, пластине и призме для условий теплообмена с окружающей воздушной средой. Полученные решения обладают повышенной (наперед заданной) точностью по сравнению с известными в литературе, основанными на удержании 6 членов ряда.

Экспериментальные исследования показывают, что влагофизические характеристики существенно изменяются в зависимости от температуры и влажности, в связи с чем дифференциальное уравнение влагопроводности является нелинейным:

$$\gamma \eta(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + \gamma \frac{\partial [\eta(\theta, t)]}{\partial \tau} \theta - \nabla \chi(\theta, t) \nabla \theta \quad (2)$$

Рассмотрен наиболее часто встречающийся случай расчета распределения влажности в бетонных элементах прямоугольного сечения в изотермических условиях, например, при постоянной температуре воздуха $t_{\text{вн}} = 34^\circ\text{C}$ и среднего потенциала влажности $\theta_{\text{вн}} = 15^\circ\text{В}$ наиболее жаркого месяца г.Хартума. Для выбранных условий зависимости коэффициентов влагопроводности и влагоем-

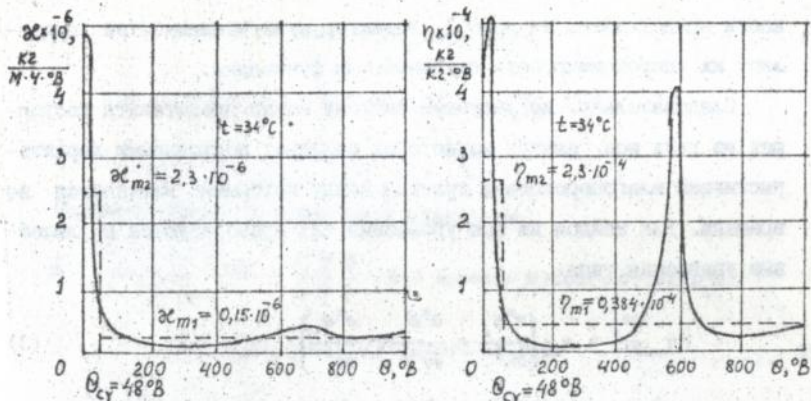


Рис.1. Аппроксимация характеристик влагопереноса

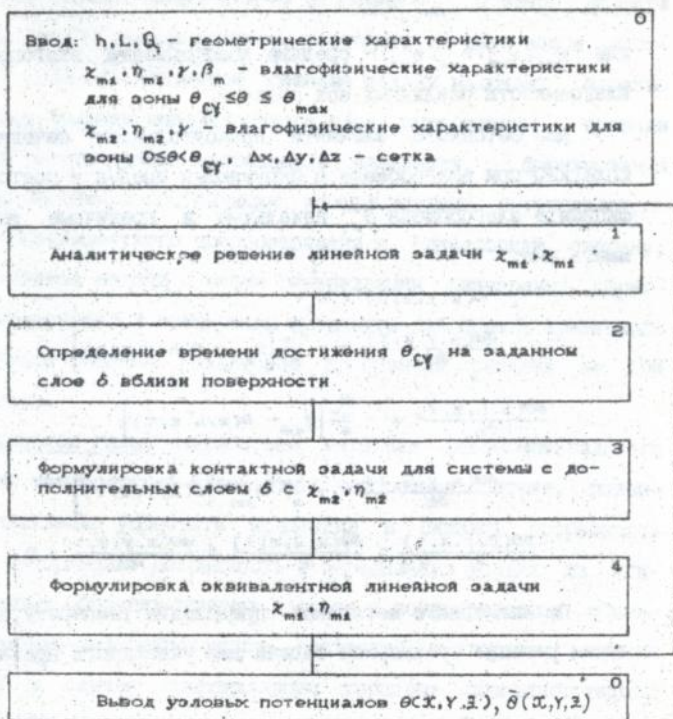


Рис.2. Блок-схема программы решений нелинейного уравнения влагопроводности для изотермических условий.

кости представлены на рис. I. Характер этих зависимостей позволяет их аппроксимировать ступенчатыми функциями.

Следовательно, исследуемую систему можно представить состоящей из двух зон, каждая из которых обладает постоянными характеристиками влагопереноса и граница между которыми изменяется во времени. Для каждой из зон уравнения (2) преобразуются в линейные уравнения типа:

$$\gamma \eta_{m1} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \chi_{m1} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

$$\gamma \eta_{m2} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = \chi_{m2} \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right), \quad (4)$$

где $\chi_{m1}, \chi_{m2}, \eta_{m1}, \eta_{m2}$ - средние коэффициенты влагопроводности и влагоемкости различных зон области.

Для бетонного элемента прямоугольного сечения размерами $2h \times 2L \times 2Q$ при влагообмене с окружающей средой и постоянном коэффициенте влагообмена β_v начальные и граничные условия будут иметь вид:

$$\theta(x, y, z, 0) = \theta_0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \theta(h, y, z, \tau)}{\partial x} = -\frac{\beta_v}{\kappa} [\theta_{ext} - \theta(h, y, z, \tau)]$$

$$\frac{\partial \theta(x, L, z, \tau)}{\partial y} = -\frac{\beta_v}{\kappa} [\theta_{ext} - \theta(x, L, z, \tau)] \quad (6)$$

$$\frac{\partial \theta(x, y, Q, \tau)}{\partial z} = -\frac{\beta_v}{\kappa} [\theta_{ext} - \theta(x, y, Q, \tau)]$$

$$\frac{\partial \theta(0, y, z, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial \theta(x, 0, z, \tau)}{\partial y} = \frac{\partial \theta(x, y, 0, \tau)}{\partial z} = 0$$

По аналогии с методикой определения температурного поля получим решение трехмерной задачи для указанного временного периода:

$$G = \frac{\theta(x, y, z) - \theta_{ext}}{\theta_0 - \theta_{ext}} = \sum_n \sum_j \sum_k A_n A_j A_k \cos(\frac{1}{2} n D) \cos(\frac{1}{2} j G) \cos(\frac{1}{2} k K) \neq$$

$$\times \exp[-\mu_n^2 F_{0x}] \exp[-\mu_j^2 F_{0y}] \exp[-\mu_l^2 F_{0z}] \quad (7)$$

$$\text{Где } F_{0x} = \frac{k\tau}{h^2}; \quad F_{0y} = \frac{k\tau}{L^2}; \quad F_{0z} = \frac{k\tau}{Q^2}; \quad k = \frac{\mu}{\eta \cdot \gamma};$$

$$B_{1x} = \frac{\beta_v h}{\mu}; \quad B_{1y} = \frac{\beta_v L}{\mu}; \quad B_{1z} = \frac{\beta_v Q}{\mu};$$

Параметр среднего потенциала влажности:

$$\bar{Q} = \frac{\bar{\theta}(x, y, z) - \theta_{\text{св}}}{\theta_{\text{св}} - \theta_{\text{св}t}} = \sum_n \sum_j \sum_l B_n B_j B_l \cos(\mu_n D) \cos(\mu_j G) \cos(\mu_l K) \times$$

$$\times \exp[-\mu_n^2 F_{0x}] \exp[-\mu_j^2 F_{0y}] \exp[-\mu_l^2 F_{0z}] \quad (8)$$

Решение (7)–(8) используется до момента достижения потенциала на поверхности критического значения $\theta_{\text{св}}$. С этого момента необходимо рассматривать систему, состоящую из двух зон в соответствии с (3)–(4). Численное решение задачи включает задание определенной толщины поверхностного слоя, определения времени достижения критического потенциала влажности, формирования двухзонной системы с постоянными коэффициентами потенциалопроводности, эквивалентного преобразования в однослойную систему, решение линейной задачи с новым генеральными размерами, обратного преобразования и повторения процедуры для нового временного слоя. Алгоритм решения реализован программой расчета на IBM PC/AT (Рис.2).

В четвертой главе разработана методика экспериментального определения температурно-влажностных деформация бетона, позволяющая существенно упростить испытания и снизить погрешность измерения деформаций. Погрешность в определении усадки на открытых бетонных образцах-призмах связана с возникновением объемного напряженно-деформированного состояния в торцевых частях призм даже в случае гидроизоляции торцевых поверхностей по ГОСТ 24 544-81. Теоретическое исследование величины этой погрешности проведено путем определения двумерного поля влажности в

сечениях призмы при боковом влагообмене с окружающей средой по разработанной методике и последующего анализа напряженно-деформированного состояния, методом конечных элементов в перемещениях на IBM PC/AT с помощью программного комплекта ReCon (Reinforced Concrete), разработанного в НИИАССе Украины.

Анализ расчета напряженно-деформированного состояния показывает, что имеет место сильная деформация сечения вблизи торцов и ее уменьшение к средней части, в связи с чем будут отличаться и результаты измерения деформаций тензодатчиками, установленными на различных базах. Относительные деформации на полной высоте призмы 300мм превышают деформации на базе 160мм; эта разница изменяется во времени, достигая максимальной величины 38%. Предложен поправочный коэффициент, его изменение во времени описано эмпирической формулой (Рис.3).

$$K = 52 \exp(-0.0014t) - 52 \exp(-0.015t) \quad (9)$$

Экспериментальными исследованиями установлены особенности деформаций усадки тяжелого бетона в диапазоне климатических температур 20°C - 70°C. Опыты проведены на образцах, изготовленных на электростанции Bugti (г.Хартум) из бетона по составу и технологии аналогичного примененному для изготовления монолитных фундаментов под турбоагрегаты. Образцы выдерживались в опалубке 7 дней, затем они были обернуты мокрой тканью и запаяны в пластиковые пакеты и авиатранспортом доставлены на Украину.

В процессе изготовления торцевые поверхности образцов гидроизолировались металлическими пластинами толщиной 3 мм с проволочными анкерами для надежного крепления к бетону призм.

Измерение относительных деформаций проводилось тензодатчиками с использованием инвентарных рамок, закрепляемых на образце четырьмя винтами с острыми наконечниками и индикаторами часового типа с ценой деления 0.001 мм, установленными с 4-х сторон

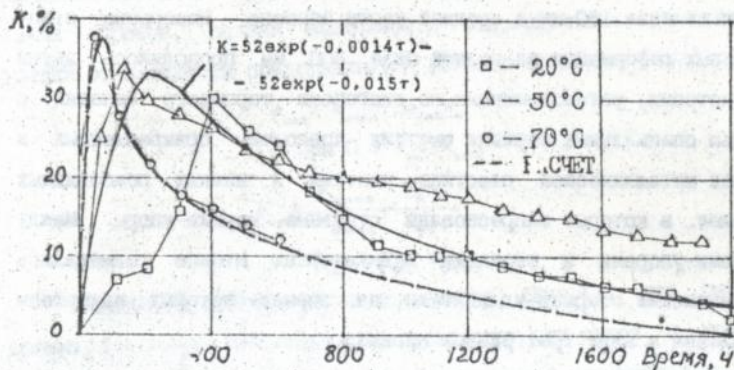


Рис.3. Зависимость коэффициента K от температуры и времени

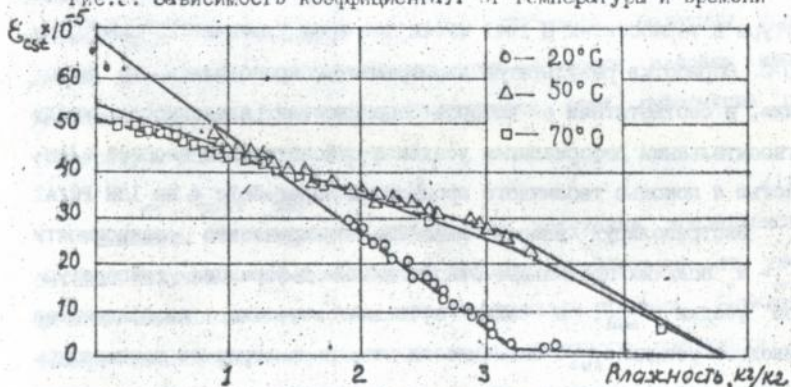


Рис.4. Зависимость усадки от температуры и влажности

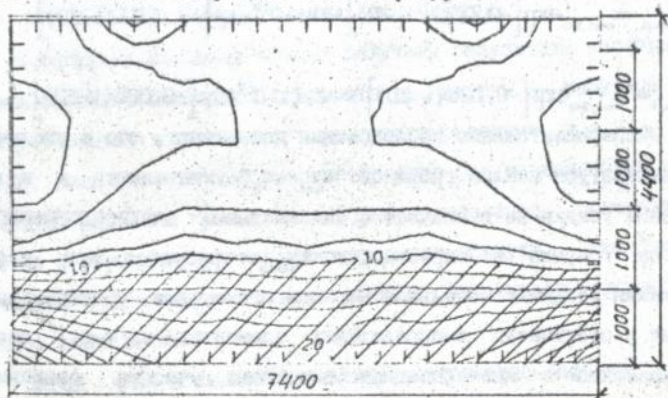


Рис.5. Нормальные напряжения в сечении фундамента, Мпа. Зоны трещин заштрихованы.

призмы на базе 180 мм в средней части образца. Измерение относительных деформаций на полной базе 300 мм проводилось двумя тензомерами, установленными по диагонали торцевого сечения с помощью специальных верхних жестких консолей, прикрепленных к верхней металлической пластине винтами и нижних ромбовидных консолей, в которые запрессованы стальные шарики-упоры. Между шариками-упорами и шариками индикаторных штоков размещались металлические стержни-удлинители, на торцах которых накернены углубления в виде трехгранных пирамид.

Усадочные деформации исследовались при стабилизации температуры в термостатах Ц 1241 МУ 42 при трех уровнях: 20°C, 50°C и 70°C. Обработка результатов экспериментов проводилась по методике, в соответствии с которой оценивается зависимость между относительными деформациями усадки и относительной весовой влажностью с помощью табличного процессора Super Calc 4 на IBM PC/AT.

Экстраполируя вперед линейные эмпирические зависимости $\epsilon_{\text{сул}} - W_b$ получим предельные относительные деформации температурной усадки $\epsilon_{\text{сул}}$, а также вычислим значения коэффициентов линейной усадки $\alpha_{\text{сул}}$. Зависимости этих параметров от температуры описываются следующими эмпирическими формулами:

$$\epsilon_{\text{сул}} = \epsilon_{\text{сул},20} \exp[-0,0074(t-20)] = 88 \times 10^{-5} \exp[-0,0074(t-20)] \quad (\text{I})$$

$$\alpha_{\text{сул}} = \alpha_{\text{сул},20} \exp[-0,025(t-20)] = 2,1 \times 10^{-2} \exp[-0,025(t-20)] \quad (\text{II})$$

Экспериментальные исследования показывают, что с увеличением температуры наклон графиков " $\epsilon_{\text{сул}} - W_b$ " уменьшается и нулевое значение усадки не совпадает с максимальным влагосодержанием. Участок графика в окрестности $W_{b\text{max}}$ требуется при расчете изменения усадки в начальном периоде сушки, для прогнозирования усилий в статически неопределимых элементах и т.п., поэтому одновременно с линеаризацией основного участка зависимости

аппроксимируем часть, прилегающую к W_{bmax} также отрезком прямой. Таким образом, полная зависимость относительных деформаций усадки от влажности представляется ломаной прямой:

$$\epsilon_{cst} = \epsilon_{csut} - \alpha_{cst} W_b \quad (12)$$

$$\text{при } 0 \leq W_b \leq W_{bcv}$$

$$\epsilon_{cst} = \frac{W_{bmax} - W_b}{W_{bmax} - W_{bcv}} \epsilon_{cv} \quad (13)$$

$$W_{bcv} \leq W_b \leq W_{bmax}$$

Результаты экспериментов показывают (Рис.4), что перелом прямых при разных температурах происходит при одной и той же влажности бетона, которую назовем критической влажностью и обозначим W_{bcv} . В нашем случае $W_{bcv} = 3,2 \cdot 10^{-2}$ кг/кг. Величины усадочных деформаций, соответствующих этой влажности назовем критическими деформациями ϵ_{cv} . Зависимость этих деформаций от температуры описывается формулой:

$$\epsilon_{cv} = \epsilon_{csut} - \alpha_{cst} \cdot 3,2 \cdot 10^{-2} \quad (14)$$

Выявлены относительные деформации набухания исследуемого бетона. Получено, что зависимости деформации набухания от увеличения влажности могут быть аппроксимированы прямыми. Выведена эмпирическая формула роста коэффициента линейного набухания от температуры:

$$\alpha_s = [3,45 + 0,045(t-20)] \cdot 10^{-2} \quad (15)$$

в натуральных условиях Судана получены результаты исследования усадки бетона высыхающего с момента распалубки в машинном зале электростанции, в помещении с кондиционированием воздуха и на кровле. Выявлено, что деформации образцов под воздействием прямой солнечной радиации превышают деформации образцов, помещенных в машзале и образцов при кондиционировании воздуха. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает удовлетворительное совпадение.

Пятая глава посвящена анализу напряженно-деформированного

состояния железобетонных массивных конструкций. Разработана методика расчета железобетонных элементов прямоугольной формы при вынужденных температурно-влажностных деформациях с учетом реологических свойств бетона на основе линейной теории упруго-ползучего тела. В соответствии с теоремой Н.Х.Арутюняна при вынужденных температурно-влажностных деформациях внутри области и перемещениях на контуре напряжения получаются интегральным преобразованием напряжений упругомгновенной задачи, а деформации и перемещения совпадают с упругомгновенными деформациями и перемещениями. Определение полных напряжений сводится к умножению соответствующих составляющих тензора упругих напряжений упруго-мгновенной задачи на коэффициент затухания $H^*(t, t_0)$, учитывающий изменение напряжений вследствие ползучести бетона, начиная с момента начала воздействия вынужденных деформаций.

С.В.Александровским показано, что упрощение задачи ползучести в этой постановке может быть достигнуто следующей формой задания вынужденных деформаций

$$\epsilon_{ox}(t) = \epsilon_{oy}(t) = \epsilon_{oz}(t) = \alpha_{\text{бет}} W_b^0(t) \quad (16)$$

Если поле влажности W_b представить в виде произведения

$$W_b^0(t) = W_0 T(t) P(x, y, z), \quad (17)$$

то полные напряжения описываются в форме

$$\begin{aligned} \sigma_x^*(t) &= \bar{\sigma}(t) H^*(t, t_0), \\ &\dots\dots\dots \\ \tau_{xy}^*(t) &= \bar{\tau}_{xy}(t) H^*(t, t_0), \quad (18) \\ &\dots\dots\dots(x, y, z), \end{aligned}$$

а коэффициент затухания определится из уравнения

$$H^*(t, t_0) = T(t) - \int_{t_0}^t T(\tau) R(t, \tau) d\tau \quad (19)$$

Для наследственной функции второго рода $R(t, \tau)$ составлены таблицы, ориентированные на "средний" бетон, с помощью которых

вая значение функции $T(\tau)$ численным методом вычисляется интеграл правой части уравнения (19), а затем коэффициент затухания.

На основе решения задачи влагопроводности (глава 3) для одномерного, двумерного и трехмерного потока влаги получены значения $T(\tau)$:

$$T(\tau) = \sum_n^{\infty} A_n \exp(-\mu_n^2 Fo_x), \quad (20)$$

$$T(\tau) = \sum_n^{\infty} \sum_j^{\infty} A_n A_j \exp(-\mu_n^2 Fo_x) \exp(-\mu_j^2 Fo_y), \quad (21)$$

$$T(\tau) = \sum_n^{\infty} \sum_j^{\infty} \sum_k^{\infty} A_n A_j A_k \exp(-\mu_n^2 Fo_x) \exp(-\mu_j^2 Fo_y) \exp(-\mu_k^2 Fo_z), \quad (22)$$

величины которых с заданной точностью вычисляются по разработанным программам на IBM PC/AT.

Решение упруго-мгновенной задачи может быть проведено одним из численных методов, используя широко распространенные пакеты прикладных программ. По полученным составляющим тензора напряжений полные напряжения с учетом ползучести определяются по формуле

$$\begin{aligned} \sigma_x^*(x, y, z, t) &= \frac{\sigma_x^0(x, y, z, t)}{T(\tau)} H^*(t, t_0) \\ &\dots\dots\dots(x, y, z) \\ \tau_{xy}^*(x, y, z, t) &= \frac{\tau_{xy}^0(x, y, z, t)}{T(\tau)} H^*(t, t_0) \\ &\dots\dots\dots(x, y, z) \end{aligned} \quad (23)$$

Проведена оценка трещиностойкости фундамента под турбоагрегат электростанции Вигт1 (г.Хартум) с использованием разработанной методики. Показано, что возникновение трещин в теле фундамента связано с интенсивными процессами развития усадки при воздействии экваториального климата (Рис.5).

Проведены натурные обследования состояния фундаментов под турбоагрегаты 2-10 Мват №6 и №5, выявлено влияние климатических воздействий на их прочность, жесткость и трещиностойкость. Установлено наличие трещин усадочного характера до приложения нагрузки на фундаменты. Отклонения от проекта не обнаружено. Проч-

ность бетона, наличие и расположение арматуры, состав бетона, технология изготовления и условия твердения соответствуют нормам. Наличие трещин снижает жесткость фундамента, его делает более уязвимым при динамических воздействиях, снижает его несущую способность, эксплуатационную надежность.

Разработаны предложения по расчету и проектированию монолитных железобетонных конструкций в субэкваториальном климате.

Результаты исследования используются государственной фирмой Судана NES при совершенствовании решений и методов расчета фундаментов под турбоагрегаты. "Предложения..." внедрены в проект усиления контрфорса коксовой батареи № Авдеевского коксохимического завода и при разработке часторбристых конструкций покрытий при одностороннем нагреве.

Основные выводы и результаты

1. Уточнены температурно-влажностные режимы работы строительных конструкций в субэкваториальном климате по данным сети метеорологических станций республики Судан, предложены расчетные зависимости и годового хода основных параметров среды (потенциала влажности и температуры) для формулировки граничных условий задач тепло- и влагопроводности в железобетонных конструкциях зданий и сооружений.

2. Разработана методика расчета температурно-влажностных полей в сечениях железобетонных элементов прямоугольного поперечного сечения с учетом изменчивости характеристик влагопереноса в зависимости от температуры и влажности. Решения основаны на теории потенциала влажности, значительно повышающей достоверность результатов. Разработаны алгоритмы и составлены программы расчета на IBM PC/AT для одномерных, двумерных и трехмерных потоков тепла и влаги для условий тепло- и влагооб-

мена с окружающей воздушной средой.

3. Разработана методика экспериментального определения температурно-влажностных деформаций бетона, позволяющая существенно упростить испытания и снизить погрешности измерения деформаций. Проведены теоретические и экспериментальные исследования погрешности измерения усадки путем анализа объемного напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов на IBM PC/AT с использованием полученных решений плоской задачи влагопроводности. Выявлено, что относительные деформации, замеренные тензомерами на полной высоте призмы 300 мм превышают деформации, замерянные на базе 160 мм; эта разница изменяется во времени, достигая в некоторый момент максимальной величины 38% и затем уменьшаясь теоретически до нуля; в опытах - до некоторой величины, зависящей от температуры. Предложен поправочный коэффициент, изменение которого от температуры и времени описано эмпирической формулой.

4. Экспериментальными исследованиями установлены особенности деформаций усадки тяжелого бетона в диапазоне климатических температур 20 С - 70 С. Опыты проведены на образцах, изготовленных в Судане из бетона аналогичного по составу и технологии, примененному для изготовления монолитных фундаментов под турбоагрегаты электростанции Burri (г. Хартум). Обработка результатов исследований проводилась с помощью табличного процессора Super Calc 4 на IBM PC/AT. Подтвержден факт уменьшения относительных деформаций усадки с повышением температуры, что проявляется в снижении предельных относительных деформаций температурной усадки и коэффициентов линейной усадки, для которых получены эмпирические формулы.

Предложено зависимости между относительными деформациями усадки и относительной влажностью аппроксимировать ломанными

линиями. С помощью таких зависимостей удается ^срассчитать изменения размеров конструктивных элементов во времени любого поперечного сечения, не прибегая к грубой оценке по модулю открытой поверхности. Зависимости этих деформаций от температуры представлены эмпирическими формулами.

5. Получены зависимости между относительными деформациями набухания исследуемого бетона, влажностью и температурой. Введена эмпирическая формула роста коэффициента линейного набухания от температуры.

6. Получены результаты исследований усадки бетона в натуральных условиях Судана на образцах, высыхающих с момента распалубки в машинном зале электростанции, в помещении с кондиционированием воздуха и на кровле. Выявлено, что деформации усадки при воздействии прямой солнечной радиации превышают деформации образцов, помещенных в машинном зале и образцов при кондиционировании воздуха. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показывает удовлетворительное совпадение.

7. Разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния массивных железобетонных элементов прямоугольного сечения при вынужденных температурно-влажностных деформациях на основе линейной теории ползучести. Приведены алгоритмы расчета для одномерной, двумерной и трехмерной задач.

8. Проведена оценка трещиностойкости фундамента под турбоагрегат электростанции Burrī (г.Хартум) с использованием разработанной методики. Показано, что возникновение трещин в теле фундамента связано с интенсивным процессом развития усадки при воздействии субэкваториального климата.

9. Проведенные натурные обследования состояния фундаментов под турбоагрегаты 2x10 Мват №5 и №6 выявили влияние климатических воздействий на их прочность, жесткость и трещиностойкость.

10. Разработаны предложения по расчету и проектированию монолитных железобетонных конструкций в субэкваториальном климате, содержащие рекомендации по расчету параметров режимов среды, по расчету распределения температуры и влажности, деформаций усадки и набухания, напряженно-деформированного состояния, рекомендации по проектированию, уходу и реконструкции.

11. Результаты исследований используются государственной фирмой Судана NES при совершенствовании решений и методов расчета фундаментов под турбоагрегаты. "Предложения ..." внедрены в проект усиления контрфорса коксовой батареи №9 Авдеевского коксохимического завода и при разработке часторебристых конструкций покрытий при одностороннем нагреве.

Основные положения и результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Фомин С.Л., Баргути Ф.И., Баха Элдин Мохамед. Работа железобетонных покрытий с пустотными блоками в условиях жаркого климата// Пути снижения материалоемкости и стоимости в строительстве и при реконструкции зданий: Тез. докл. к зональной конференции. - Пенза, 1990. - с.59-60.

2. Фомин С.Л., Баха Элдин Мохамед, Салех А.Р. Температурные усилия в ребристых железобетонных конструкциях при одностороннем нагреве// Пути снижения материалоемкости и стоимости в строительстве и при реконструкции зданий: Тез. докл. к зональной конференции - Пенза, 1990. - с.60-61.

3. Фомин С.Л., Баха Элдин Мохамед, Салех Абдель Рахим. Температурные усилия в ребристых перекрытиях, работающих в жарком климате// Прочность и деформативность железобетонных конструкций. - Харьков, 1990.

4. Фомин С.Л., Баха Элдин Мохамед, Аматыя Сушил, Шерстаха Карунда. Определение длины температурно-усадочных блоков железобетонных конструкций.

бетонних конструкцій// Прочність і довговічність
кошторукцій.- Харків, 1991.

АВ 27.917

5. Фомин С.Л., Баха Злдин Мохамед, Абутика Редуан. К расчету монолитных железобетонных фундаментов, работающих в субэкваториальном климате// Совершенствование подготовки специалистов в области строительства и реконструкции зданий и сооружений: Тез. докл. межрегиональной студенческо-преподавательской научно-технической конференции.-Харьков, 1991.-с.3-4.

6. Баха Злдин Мохамед. Усиление фундаментов под турбоагрегат 2x10 Мват на станции Бури (Судан)// Повышение эффективности строительства: Тез. докл. 47-й научно-технической конф.-Харьков, 1992. - с. 48-49.

7. Фомин С.Л., Магди Шариф Али, Баха Злдин Мохамед, Гапич А.И. Особенности работы зданий на температурные воздействия климатической среды// Повышение эффективности строительства: Тез. докл.47-й научно-технической конф.-Харьков, 1992.-с. 56.

8. Фомин С.Л., Баха Злдин Мохамед, Магди Шариф.Определение потерь предварительного напряжения от усадки. Сб. НИМСК, - Киев, 1992.

9. Фомин С.Л., Баха Злдин Мохамед, Магди Шариф Салих. Экспериментально-теоретические исследования температурно-влажностных деформаций бетона// Ресурсосберегающие технологии строительных материалов изделий и конструкций: Тез. докл. международной конф.- Белгород, 1993.- с. 88-89.

P. Sam

Відповідальний випусковий **Стороженко Л.И.**

Підп. до друку 14.06.93 Формат 60x84^{1/16}. Папір. друк. Друк офсетний.
Умовн.-друк. арк. 10 Умовн. фарбо-відб. 6 У Облік.-вид. арк. 10
Тираж 100 прим. Зам. № 1911. Безплатно.

Харківське орендне поліграфічне підприємство.
310093, Харків, вул. Свердлова, 115.