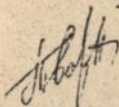


ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ТВАРДОВСКИЙ Игорь Александрович



ДЛИТЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ БЕТОННЫХ И
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ
РЕЖИМАХ ЗАГРУЖЕНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕГО УЧЕТУ

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

№ 26.598

Работа выполнена в Одесском инженерно-строительном институте

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
ПРОКОПОВИЧ И.Е.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
ГНИДЕЦ Б.Г.

- кандидат технических наук, доцент
СВИТЛЫК А.Ю.

Ведущая организация - ЭПКТИ /экспериментальный проектный
конструкторско-технологический институт/
"Монолитпроект" Укрмонолитспецстроя

Защита состоится "12" ЯНВАРЯ 1993 г. в 11 часов
на заседании специализированного совета Д 068.41.01 в Одесском
инженерно-строительном институте по адресу: 270029, Одесса-29,
ул. Дидрихсона, 4, ОИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "11" ДЕКАБРЯ 1992 г.

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00825618 (U)

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

Малахова МАЛАХОВА Н.А.



AB - 26,598

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. На современном этапе развитие капитального строительства идет по пути снижения стоимости на единицу вводимой в действие мощности. В связи с этим, предусматривается применение прогрессивных научно-технических достижений, экономичных материалов и конструкций, передовых методов конструирования и расчета. Важным вопросом является определение несущей способности высотных железобетонных сооружений, а также выявление резервов прочности существующих объектов при проведении реконструкций. Последнее требует учета влияния режимов загрузки на кратковременную и длительную прочность применяемого бетона. Для практической реализации преимуществ, вытекающих из учета режимов загрузки, необходима взаимосвязка опытных данных и теоретических разработок с технологией возведения. Однако, имеющихся опытных данных еще не достаточно для решения такой задачи. Поэтому, является перспективным проведение дальнейшего экспериментального и теоретического изучения влияния на прочность бетона режимов возведения конструкций, связанных с технологией строительства. Особенно важна постановка и проведение опытов, которые дали бы возможность сопоставления влияния различных режимов нагружения: величины и длительность напряжений; время формирования конечного уровня напряжений; уровень напряжений при догрузениях и т.д.

Целью диссертационной работы является:

- выявление несущей способности бетонных и железобетонных элементов, нагруженных постоянными, ступенчато-возрастающими и периодически-повторяющимися нагрузками;
- изучении влияния режимов нагружения на изменение структуры бетона при помощи ультразвукового импульса;
- определение величин пределов длительной прочности при различных режимах нагружения бетона;
- разработка методики по определению коэффициента условия работы тяжелого бетона γ_{b2} , учитывающего возраст при загрузении и его длительность, класс и естественное увеличение прочности;
- определение влияния армирования на длительную прочность бетона, нагруженного ступенчато-возрастающей нагрузкой.

Автор защищает:

- результаты экспериментальных исследований бетонных и железобетонных элементов, нагруженных постоянными, ступенчато-возрастающими и периодически повторяющимися нагрузками;
- результаты прозвучивания структуры бетона при различных режимах нагружения;

- методику назначения коэффициентов условия работы тяжелого бетона в зависимости от режима нагружения, физико-механических свойств применяемых материалов, длительности действия нагрузки;
- результаты исследования взаимодействия арматуры и бетона при длительной сжатии и характер изменения при этом диаграммы $\sigma_s \sim \epsilon_s$;

Научную новизну работы составляют:

- данные о резервах прочности длительно нагруженных по различным режимам бетонных и железобетонных элементов;
- изменение предела длительной прочности бетона в зависимости от режима приложения нагрузки;
- оптимальная продолжительность нагружения бетона ступенчато-возрастающими нагрузками;
- характер ультразвуковых кривых при действии постоянной, ступенчато-возрастающей и периодически повторяющейся нагрузки; их взаимосвязь с удельными деформациями ползучести;
- предложения по уточнению функции нелинейности для описания удельных деформаций ползучести при различных режимах нагружения бетона;
- способ определения относительной длительной прочности бетона при помощи ультразвука;

Практическая ценность работы:

- методика обоснованного назначения коэффициентов условий работы тяжелого бетона по длительности формирования напряжений;
- рекомендации по возможной экономии цемента и арматуры при проектировании и возведении бетонных и железобетонных конструкций.

Основные результаты работы были использованы при разработке "Рекомендаций по учету совместного влияния нагрузки, температуры и влажности на прочность и деформации бетонных и железобетонных конструкций", подготовленных к изданию НИИЖБ Госстроя СССР.

Рассматриваемая работа выполнена на кафедре строительной механики Одесского ИСИ в соответствии с планом научно-исследовательской работы по проблеме "Исследование деформативности, прочности и устойчивости строительных конструкций и разработка методов их расчета с учетом специальных свойств при кратковременных и длительных нагрузках и воздействиях /номер государственной регистрации 01660083269/.

Апробация. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на: Республиканском координационном совещании "Длительная прочность бетона и железобетонных конструкций" /Одесса, 11-13 мая, 1989г./; Всесоюзном координационном совещании "Исследование и проектирование пространственных конструкций и башенных сооружений из монолитного железобетона со стержневым и дисперсным армированием" /Донецк, 26-29 сентября 1989г./; то же - "Расчет башенных сооружений и пространственных

конструкций с учетом технологии их возведения" /Донецк, 22-26 сентября, 1990г./; Республиканск. й научно-технической конференции "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику" /Полтава, 17-19 октября, 1989/, а также на научно-технических конференциях ОИСИ 1988... 92 г.г.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня используемой литературы и приложения. Полный объем - 105 страниц, в том числе таблиц - 10, рисунков - 40, библиография из 103 наименований и приложения.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному консультанту к.т.н., доценту Кобринцу В.М. за оказанную помощь и содействие в выполнении данной работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. Изучению механизма разрушения бетона при кратковременном сжатии и изменения его прочностных и деформативных свойств от действия длительной нагрузки посвящены работы Д.В.Бабенко, А.Я.Барашикова, И.К.Белоброва, О.Я.Верга, В.М.Вондаренко, Б.И.Бурчу, П.И.Вгсилева, В.П.Васильева, Е.И.Гамаюнова, А.А.Гвоздева, Л.В.Гержулы, Ю.П.Гуци, Б.Г.Гнидца, А.Б.Гольшева, Е.А.Гузеева, О.М.Донченко, Ю.В.Зайцева, А.С.Залесова, М.М.Заставы, Ю.А.Ивашенко, К.С.Карапетяна, Н.И.Карпенко, О.П.Квирикадзе, А.Н.Коркишко, В.Ф.Мазура, Л.И.Макаренко, И.Е.Прокоповича, Б.Я.Рискинда, А.В.Саталкина, Р.Л.Сергич, А.Ю.Свитлыка, И.И.Тж.лова, Л.П.Трапезникова, И.М.Френкеля, Э.В.Чудутова, Л.В.Черной, И.Л.Ковалевой, Л.А.Ширяевой, В.Г.Щелкунова, Е.Н.Щербакова, А.Ф.Ягченко, А.В.Яшина, В.Ю. Чернавина и др.

Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили получить ряд зависимостей для определения физико-механических характеристик бетона как при кратковременном так и при длительном действии постоянной нагрузки. Многие из них вошли в действующие строительные нормы и рекомендации, дающие достаточно близкое совпадение с экспериментальными данными и поэтому широко используемые на практике.

Длительное действие постоянных напряжений высоких уровней отрицательно влияет на прочность бетона, в связи с чем, количественная оценка длительной прочности бетона бетона явилась целью исследований ряда отечественных и зарубежных ученых. Традиционная на сегодняшний день методика определения длительной прочности бетона предусматривает нагружение призм близнецов в кратковременном режиме нагрузками постоянными во времени, но имеющими различные уровни, а также фиксацию состояния образцов. Поскольку при этом длительные напряжения в бетоне призм

различны, то одна часть образцов разрушается через определенный промежуток времени, а другая - не разрушается. Зависимость между уровнями напряжений в образцах и временем до разрушения позволяет построить кривую длительного сопротивления. Для тяжелых бетонов при статии такие кривые построены А.В.Яшиным в НИИЖБ, О.Я.Бергом и Е.Н.Цербаковым в ЦНИИСе и др.; для легких бетонов различных видов получены В.Д.Чернавиным

И.Е.Прокоповичем, Иг.И.Темновым и В.Ф.Мазуром разработана, а Л.В.Черной применена на водонасыщенном бетоне, методика определения длительной прочности бетона, называемая далее методикой догружений. Эта методика основана на следующем экспериментально доказанном положении. На кривой $\eta_{\text{бтм}}^{\Delta}(t)$, представляющей зависимость между относительными уровнями длительно действующих постоянных напряжений

$$\eta_{\text{бтм}}(t_0) = \sigma_0(t_0) / R_{\text{бтм}}(t_0) \quad (1)$$

и относительной кратковременной прочностью бетона, определяемой догружением после длительного восприятия сжимающей силы,

$$\eta_{\text{бтм}}^{\Delta}(t) = R_{\text{бтм}}^{\Delta}(t) / R_{\text{бтм}}(t) \quad (2)$$

существует точка $\eta_{\text{бтм}}^{\Delta}(t_0)$, в которой: во-первых, загруженная призма твердеет так же, как незагруженная и, во-вторых, напряжения $\eta_{\text{бтм}}^{\Delta}(t_0) R_{\text{бтм}}^{\Delta}$ является достаточно точной оценкой снизу длительного сопротивления сжатого бетона $R_{\text{бтм}}^{\Delta}$. В практических целях может применяться равенство

$$\eta_{\text{бтм}}^{\Delta}(t_0) \approx \eta_{\text{бтм}}^{\Delta}(t_0) \quad (3)$$

Не трудно заметить, что, если в традиционной методике кривая длительного сопротивления строится по экспериментальным точкам, соответствующим образцам, разрушившимся при постоянных напряжениях, то в методике догружений используются данные, связанные с прочностью бетона, определяемой догружением ранее загруженных образцов. Эта методика не только обеспечила более высокую эффективность экспериментальных исследований, но и позволила более полно раскрыть особенности сопротивления бетона.

Длительным сопротивлением бетона при переменных, в первую очередь постепенно возрастающих напряжениях, занимались Г.Рюш, А.В.Яшин, В.Г.Целкунов, А.Д.Свитлык и А.Н.Коркишко. В опытах Г.Рюша и А.В.Яшина выявлено изменение прочности бетона при различных скоростях нагружения бетона. Исследованиями В.Г.Целкунова, А.Д.Свитлыки и А.Н.Коркишко изучено упрочнение сжатого ступенчато-нагруженного пропаренного бетона.

Достаточно широкое развитие получило в последнее время изучение длительной прочности бетона с позиции механики разрушения; при этом

бетон считается линейно-деформируемым телом, обладающим ползучестью. Как правило, рассматривается диск, сжатый по двум сторонам контура равномерной нагрузкой. В работах Ю.В.Зайцева за основу принимается модель А.А.Гриффитса с использованием принципа Вольтерра; показано, что прочность материала в условиях длительного действия нагрузки связана как с ползучестью, так и с изменением во времени коэффициента интенсивности напряжений в трещине. В.М.Бондаренко и Л.В.Гержула исходят из энергетического принципа, сущность которого заключена в том, что количество потенциальной энергии, накачиваемой в процессе нагружения единицей объема и приводящей к разрушению материала - является величиной постоянной. Предложения Л.П.Трапезникова тоже базируются на энергетическом принципе. Однако, в отличие от описанных выше применится двухкомпонентная модель. В исследованиях И.Е.Прокосевича и И.Д.Ковалевой используется модель М.Я.Леонова и В.В.Панасюка. Основное внимание уделяется изучению поведения коэффициента интенсивности энергии в трещине, причем исследуются не только постоянные, но и переменные режимы изменения напряжений в бетоне.

Имеются отдельные предложения по определению предельного значения длительных усилий для железобетонных стержней. В.Г.Щелкун в исходит из данных опытов, предпринятых в условиях четырех типов режимов приложения нагрузок. Предложения В.М.Кобринца и М.А.Шихаде предполагают рассмотрение оптимальных и квазиоптимальных режимов, т.е. режимов, в условиях которых, усилия увеличиваются подобно нарастанию кратковременной прочности. В.Ф.Мазур применил способ догружений и провел соответствующие экспериментальные исследования для определения длительной прочности бетона в железобетонных элементах. Эти результаты и результаты других исследователей осветили некоторые существенные вопросы, но еще не достаточно доработаны для практического использования.

Действующий СНиП рекомендует принимать значения коэффициентов условий работы γ_{b2} , при: сочетании воздействий "а" в обычных условиях 0,90, при сочетании "б", т.е. при учете нагрузок непродолжительного действия и особых нагрузок - 1,10. Какие либо обоснования этих величин неизвестны. Величина 0,9 больше длительного сопротивления $\eta_{br}^0(t_a) = 0,8$ для тяжелого бетона при сжатии постоянными нагрузками. Величина 1,10 фактически соответствует случаю достаточно быстрого приложения всей нагрузки. Поэтому представляется, что при назначении для γ_{b2} указанных выше величин, были учтены не только упомянутые экспериментальные данные, но и опыт проектирования и строительства.

В соответствии со всем сказанным были сформулированы цели диссертации, имеющей экспериментальный характер и предусматривающей получение

новых научных результатов, а также разработку практических рекомендаций по проектированию и возведению более экономичных конструкций.

Методика экспериментальных исследований. Объектами исследований служили: бетонные кубы с ребром 10 см, бетонные призмы 10x10x40 см и железобетонные призмы 10x10x40 см, с $\mu = 0,02$. Опытные образцы были изготовлены из тяжелого бетона естественного твердения состава 1:2,13:3,83 по массе при В/Ц=0,54. Проектный класс бетона В30. Для приготовления бетона использовали: портландцемент Одесского завода марки 400; морской песок с модулем крупности 1,58; гранитный щебень с фракциями 5-20 мм; арматуру $\varnothing 8A$ -III и $\varnothing 5$ VI. Всего было испытано: кубов - 90, бетонных призм - 213, железобетонных призм - 36, в том числе на действие длительной нагрузки - 123 бетонных и 15 железобетонных призм.

Кубиковую и призмную прочности бетона определяли на прессах УИМ-50м и ГРМ-2 по методике ГОСТ 24452-80. Испытания призм при длительном действии нагрузки выполнены в пружинных установках на статие мощностью до 100 кН, предварительно отарированных в соответствии с требованиями ГОСТ 8905-82. Для более точного формирования требуемого уровня напряжений в бетоне проводили специальные мероприятия с использованием ультразвукового прибора Ул-ЮПИ, работающим в автоматическом режиме. Коэффициент вариации прочности бетона, определяемой в опытах, в среднем составил $\nu = 0,030 \pm 0,005$.

Основные режимы нагружения образцов:

1/ Режим "0". На всем промежутке времени с $t_0 = 28$ сут до $t = 388$ сут в бетонных призмах действовали постоянные напряжения, уровни которых варьировались в пределах $\eta_{bm}(t_0) = 0,15; 0,30; 0,60; 0,78; 0,80; 0,83; 0,85$.

2/ Режим "1". С момента времени приложения нагрузки $t_0 = 28$ сут до $t_k = 208$ сут в бетоне поддерживали постоянными уровни длительно-действующих напряжений - $\eta_{bm}(t) = 0,70; 0,75; 0,80$.

3/ Режим "2". Начало загрузки предусматривали таким образом, чтобы средние значения напряжений примерно соответствовали наклонным прямым, проходящим через точки с координатами: $t_0, \sigma_b(t_0)$ и $t_1, \sigma_b(t_1)$; при $t_1 \leq t \leq t_k$ нагружение образцов продолжали согласно режима "1". Время t_1 регулирует скорость ступенчатого нагружения $t_1 - t_0 = 30, 60$ и 90 сут, в связи с чем режим "2" делится на три подрежима: "2а", "2в" и "2с". Напряжения в бетоне к моменту времени t_1 соответствуют $\sigma_b(t_1) = 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95 / R_{bm}(t_1)$.

4/ Режим "3". Данный режим является развитием режима "2в", при этом: $t_1 = 91$ сут, $t_k = 208$ сут. С момента времени t_1 до t_k в бетоне поддерживали уровни напряжений:

$$а/ \text{ для режимов "3а" и "3в" } - \eta_{bm}(t_0) = \sigma_b(t) / R_{bm}(t_0) = \frac{\eta_{bm}^0 \gamma_2(t)}{\gamma_c};$$

б/ для режимов "3с" - $\eta_{bm}^n(t_0) = \frac{\eta_{bm}^n \gamma_2(t)}{\gamma_c} \cdot 1,1$, где $\eta_{bm}^n = 0,9$, $\gamma_c = 1,3$, $\gamma_2(t)$ - относительное увеличение призмной прочности.

После $t_k = 208$ сут к опытным образцам прикладывали периодически-повторную нагрузку с периодом $\Delta t = 1$ сут таким образом, что действующая длительная нагрузка до времени t_k в дальнейшем являлась нижней границей периодической нагрузки, а верхняя ее граница соответствовала следующим уровням напряжений:

а/ для режима "3а" - $\eta_{bm}^n(t_0) = \eta_{bm}^n \gamma_2(t) \cdot 1,1$,

б/ -" "3в" и "3с" - $\eta_{bm}^n(t_0) = \eta_{bm}^n \gamma_2(t)$.

5/ Режим "4". Образцы, относящиеся к этому режиму в промежутке времени от t_0 до t_1 загружали согласно режима "1", так, чтобы $\eta_{bm}^n = 0,80$. Далее к этим образцам прикладывалась периодическая нагрузка с периодом $\Delta t = 14$ сут. При этом нижней границе соответствовали напряжения уровня $\eta_{bm}^n(t) = 0,80$, а верхней - $\eta_{bm}^n(t) = 0,90$.

6/ Режим "5". Отличается от режима "4" тем, что с момента времени t_0 до t_1 образцы загружали по режиму "2".

7/ Режим "6". Железобетонные приемы загружали длительной ступенчато-возрастающей нагрузкой таким образом, чтобы напряжения в бетоне железобетонных образцов и в бетоне бетонных образцов, загружаемых по режиму "2в" - были одинаковыми.

Все неразрушившиеся образцы в конце испытаний / $t_1 = 388$ сут/ довели до разрушения катковременным догружением в установках без предварительной разгрузки.

Результаты опытов, проведенных с бетонными образцами, и их анализ. Увеличение призмной прочности бетона достаточно полно описывается известной формулой

$$\gamma_2(t) = 1 + \frac{23}{55+B} \left(\frac{t-28}{t+11} \right) \quad (4)$$

и за период времени $t_p - t_0 = 388 - 28 = 360$ сут составило 28...30% от $R_{bm}(t_0)$.

Исследования длительного действия постоянных напряжений, приложенных по режиму "0", подтвердили постоянство положения точки $\eta_{bm}^n(t_0)$ на оси $\eta_{bm}^n(t)$, установленное ранее для тяжелого бетона опытами Темнова И.И., Мазура В.Ф. и Черной Л.В. Численное значение $\eta_{bm}^n(t_0) = 0,83$ оказалось близко к относительному пределу длительной прочности, полученному А.В.Яшиным, С.Я.Бергом, Е.Н.Щербаковым и др. авторами по традиционному методике.

Обработка данных опытов, относящихся к режиму "2" позволила привязываясь к оси $\eta_{bm}^n(t)$, построить кривую $\eta_{bm}^n(t)$ и определить для указанного случая величину $\eta_{bm}^n(t_0) = 1,18$ или $\eta_{bm}^n(t_k) = 0,92$ к прочности бетона в момент времени окончания фс-мирования нагрузки. Анализ представлен-

ных на рисунке кривых кратковременной прочности бетонных образцов, длительное время находящихся под нагрузкой, прикладываемой по режимам "0" и "2", позволяет выделить в них некоторые общие закономерности. Во-первых, наблюдается одинаковый характер изменения и очертания указанных

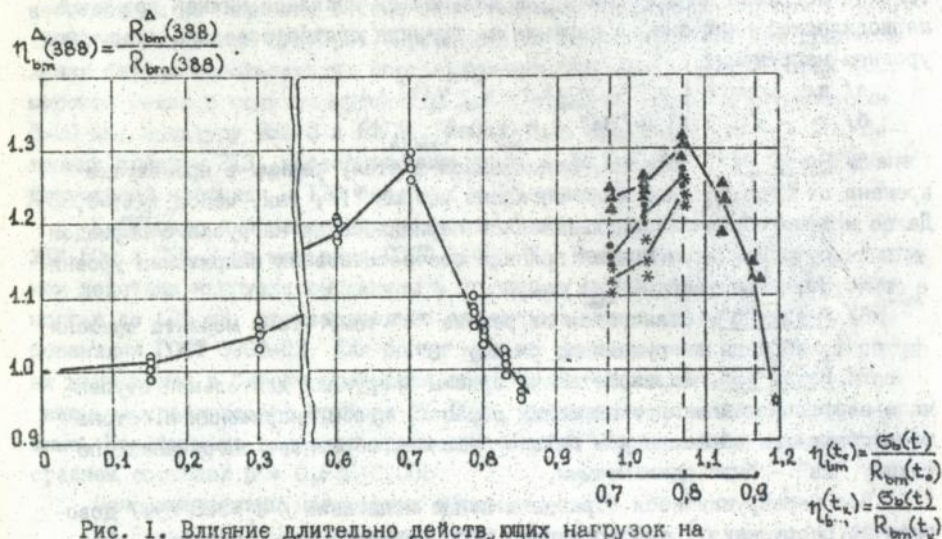


Рис. 1. Влияние длительно действующих нагрузок на кратковременную прочность при режимах "0" и "2"
 —○— результаты опытов 0 серии; —×— то же 2 серии
 $(t_1 - t_0) = 30$ сут.; —▲— то же $(t_1 - t_0) = 60$ сут.;
 —●— то же $(t_1 - t_0) = 90$ сут.

кривых. Во-вторых, точки пересечения рассматриваемых кривых с горизонтальной осью естественной прочности бетона обладают примерно одинаковыми свойствами. Это в свою очередь позволяет сделать вывод о применимости равенства (3) и в случае формирования напряжений в бетоне длительной ступенчато-возрастающей нагрузкой. Отличительные особенности кривых $\eta_{b,m}^{\Delta}(t_p)$ представлены в виде сопоставления характерных точек в табличной форме.

Таблица

Значения характерных точек кривых изображенных на рис. 1
 $(t_0 = 2^{\circ}$ сут., $t_k = 208$ сут., $t_p = 388$ сут.)

Режим	$\eta_{b,m}^{\Delta}(t_k) = \frac{\sigma_b(t_k)}{R_{b,m}(t_k)}$	$\eta_{b,m}^{\Delta}(t_0) = \frac{\sigma_b(t_0)}{R_{b,m}(t_0)}$	$\eta_{b,m}^{\Delta \max}(t_k) = \frac{\sigma_b(t_k)}{R_{b,m}(t_k)}$	$\eta_{b,m}^{\Delta \max}(t_0) = \frac{\sigma_b(t_0)}{R_{b,m}(t_0)}$	$\eta_{b,m}^{\Delta \max}(t_p) = \frac{R_{b,m}^{\Delta}(t_p)}{R_{b,m}(t_p)}$	$\eta_{b,m}^{\Delta \max}(t_0) = \frac{R_{b,m}^{\Delta}(t_p)}{R_{b,m}(t_0)}$
0	0,64	0,83	0,54	0,70	1,28	1,65
2	0,92	1,18	0,80	1,03	1,28	1,65

Величина $\eta_{bm}''(t_0)$, полученная при исследовании прочности бетона, загруженного по режиму "2", на 44% больше, чем при режиме "0", фактически используем в настоящее время для оценки длительного сопротивления. Поэтому для бетонных и железобетонных конструкций, возводимых и загружаемых постепенно, т.е. как это обычно делается, при определении длительного сопротивления бетона следует исходить из результатов опытов загрузки бетона по режиму "2", используя при этом зависимость (3). Это подтверждается и результатами ультразвукового анализа. Из кривых, представленных на рис. 2, видно, что в случаях формирования достаточно высоких напряжений по режимам "0" и "I", сразу же после начала приложения нагрузки происходит разуплотнение бетона, а по режиму "2" - такого разуплотнения не отмечается.

При записи формулы для определения коэффициента условий работы тяжелого бетона γ_{bz} учтено, что длительное сопротивление в условиях формирования напряжений по режиму "2", является функцией от t_0 , t_1 и t_k .

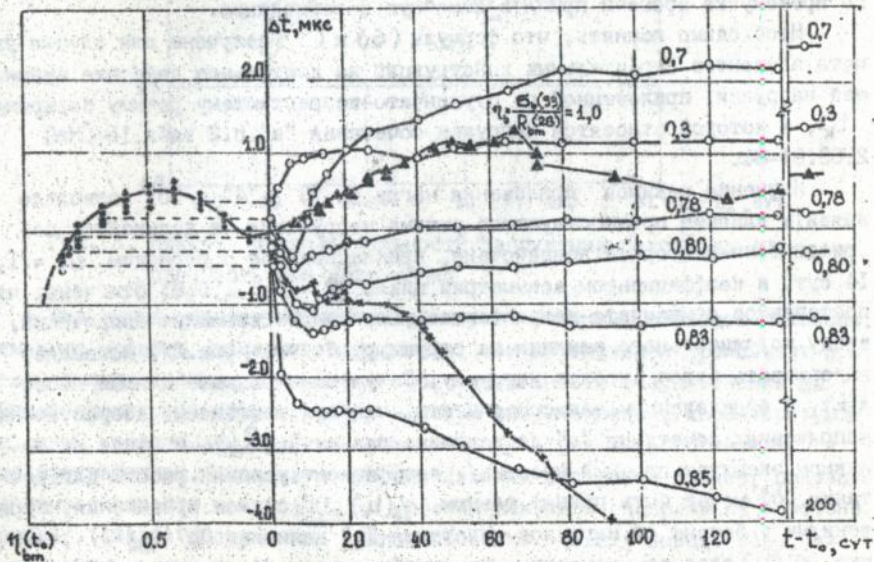


Рис. 2. Кривые изменения времени прохождения ультразвукового импульса в зависимости от режима приложения длительной действующей нагрузки: —○— режим "0", —x— режим "I", —▲— режим "2"

Как оказалось, наиболее удобно представить длительное сопротивление бетона следующей формулой

$$R_{bm}^{\circ}(t_k) = \gamma_{b2}(t_k) R_{bm}(t_0) \quad , \quad (5)$$

где:

$$\gamma_{b2}(t_k) = \eta_{bm}^{\circ}(t_k) \gamma_2(t_k) \quad , \quad (6)$$

$\gamma_2(t_k)$ - относительное увеличение призмной прочности бетона, твердеющего в незагруженном состоянии;

$\eta_{bm}^{\circ}(t_k)$ - относительный предел длительной прочности бетона, определяемый в соответствии с режимом формирования напряжений.

Учитывая, что предел длительного сопротивления бетона $R_{lm}^{\circ}(\infty)$ на 2...3% меньше длительного сопротивления при $t = 368$ сут, определенного в данной работе, логично несколько уменьшить $\eta_{bm}^{\circ}(t_k)$ и принять равным

$$\gamma_{b2}(t_k) = 0,90 \gamma_2(t_k) \quad . \quad (7)$$

В относительно редких случаях, когда $28 \leq t_k \leq 48$ сут, в формуле (6) необходимо снизить, согласно результатов исследования прочности бетона, загруженного по режиму "0", величину $\eta_{bm}^{\circ}(t_k)$ до 0,8, а внутри указанного промежутка времени принять линейную интерполяцию.

Необходимо помнить, что формулы (6) и (7) получены для случая расчета элементов строительных конструкций на длительное действие сжимающей нагрузки, приложенной по ступенчато-возрастающему режиму за время t_k , к которой относятся нагрузки сочетания "а". п.2 табл.15 СНиП 2.03.01-84.

Изучение режимов приложения нагрузки "3", "4" и "5" позволило выявить влияние предшествующего режима нагружения на дальнейшее периодически-повторное воздействие, прикладываемое с периодом $\Delta t = 1, 14$ сут. и коэффициентом асимметрии цикла $\rho = 0,6 \dots 0,8$. Отмечено, что постепенное ступенчато-возрастающее увеличение сжимающих напряжений, ввиду положительного влияния на структуру бетона /рис.2/, позволяет выдерживать более высокую нагрузку. Полученные опытные данные позволяют, с определенным запасом считать, что при постепенно возрастающих напряжениях сочетания "а" до величин, равных $0,7 R_{bm}(t_k)$ и менее /в основном эксплуатационный уровень/, коэффициент условий работы для сочетания "б" может быть принят равным $\gamma_2(t_k)$. В случае превышения напряжениями в бетоне от нагрузок сочетания "а" величины $0,7 R_{bm}(t_k)$, значение $\gamma_{b2}(t_k)$ следует уменьшить так, чтобы выполнялось условие (7), соответствующее случаю, когда только нагрузка сочетания "а" приводит бетон к разрушению. Если уровень длительно действующих напряжений, сформированный за время t_k , находится в пределах $0,7 < \eta_{bm}^{\circ}(t_k) \leq 0,90$, коэффициент условий работы бетона можно принять по интерполяции между величинами $\gamma_2(t_k)$ и $0,90 \gamma_2(t_k)$. Основную проверку по состоянию "б", как правило, следует выполнять для момента времени t_k , соответствующему

моменту времени окончания приложения нагрузок состояния "а" и началу действия нагрузок, относящихся только к состоянию "б".

Исследуемый режим "2" объединяет такие режимы как "2а", "2в" и "2с", отличающиеся продолжительностью формирования напряжений. Результаты опытов показали, что максимальное упрочнение бетона было достигнуто при формировании напряжений за $t_1 - t_0 = 60$ сут. /рис.3/. Это привело к выводу о существовании оптимальной продолжительности загрузения, при которой бетон имеет наибольшую прочность. Тем самым стала очевидной целесообразность учета в технологии возведения сооружений влияния продолжительности и режима загрузения на сопротивление сжатого бетона.

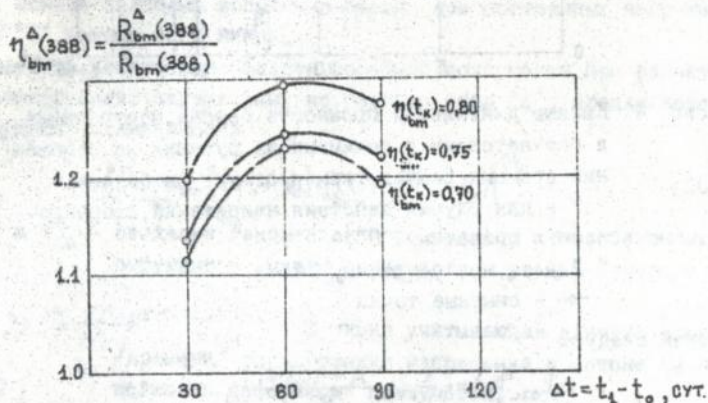


Рис. 3. Влияние продолжительности загрузения бетона на его прочность при догрузении

Результаты прозвучивания ультразвуком бетонных образцов показали, чем выше уровень сжимающих напряжений, тем интенсивнее происходят процессы разуплотнения. В качестве продолжительности разуплотнения $\Delta t_{сзс}$ принят промежуток времени между началом разуплотнения, характеризующийся явным увеличением времени прохождения ультразвукового импульса и его прекращением. Используя это определение построены кривые, показывающие зависимость между $\eta_{bm}(t_0)$ и уровнем сжимающих напряжений в бетоне /рис.4/. Анализ построенных кривых позволил сделать вывод: если сжимающие напряжения приближаются к величине длительного сопротивления бетона, то время разуплотнения $\Delta t_{сзс}$ стремится к бесконечности. Тем самым появился еще один критерий, дающий оценку определения длительного сопротивления бетона при сжатии.

Кривые "с" и "d" на рис. 4 хорошо описываются экспоненциальной зависимостью

$$\eta_{bm}(t_k) = A - B e^{-k \Delta t_{сзс}(t_k)} \quad (8)$$

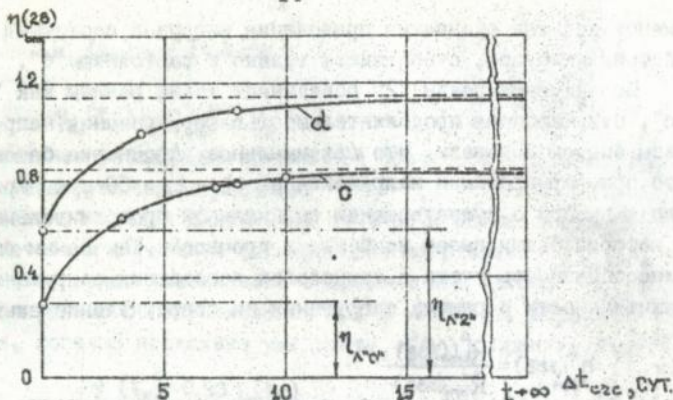


Рис. 4. Кривые длительной прочности бетона, построенные в соответствии с режимами за ружения на основа-нии времени разуплотнения структуры бетона "с" - для случая действия напряжений, сформиро-ванных по режиму "0":
 "д" - то же, по режиму "2"
 ○ - опытные точки

из которой следует

$$\Delta t_{c2c}(t_k) = -\frac{1}{K} \ln \frac{A - \eta_{bm}(t_k)}{B} \quad (9)$$

Кривая "с" на рис. 4, соответствующая случаю действия постоянных сжимающих напряжений, при $\Delta t_{c2c} \rightarrow \infty$ близко подходит к значению относительного уровня длительной прочности $\eta_{bm}^0(t_0) = 0,83$. Используя опытные точки времени разуплотнения бетона полученные при ультразвуковом исследова-нии ступенчатого режима нагружения и исходя из аналогии очертания можно построить кривую "д" /см.рис. 4/. Оказалось, кривая "д" при $\Delta t_{c2c} \rightarrow \infty$ также стремится к относительному уровню длительной прочности, определяемому по ранее изложенной методике и условию (3), приводяще-му, для случая действия нагрузки приложенной по режиму "2", - $\eta_{bm}^0(t_0) = 1,18$ / $\eta_{bm}^0(t_k) = 0,92$ /.

Получение одного и того же результата по двум, по сути дела, раз-ным методикам является дополнительным доказательством достоверности полученного результата и дает право в дальнейшем представлять длитель-ное сопротивление бетона, как величину зависящую от режима формирова-ния напряжений.

Прямолинейные участки $\eta_{bm}(t_k) = 0 \dots 0,3$ /на кривой "с" рис. 4/ и $\eta_{bm}(t_k) = 0 \dots 0,7$ /на кривой "д" / свидетельствуют об отсутствии разуплот-

нения. Учитывая, что на этих же интервалах соответственно режимам приложения нагрузки отсутствует нелинейная ползучесть бетона, можно сделать следующий вывод - развитие нелинейности в деформациях ползучести бетона связано со временем разуплотнения структуры бетона от действия сжимающих напряжений. К выводу об расширении, для случая действия нагрузки по режиму "2", границы линейной ползучести бетона, ранее пришли С.В.Александровский, П.И.Васильев, В.Г.Щежунов, А.Э.Свитлык, А.Н.Коркишко и др. В частности, приводится граница области линейной ползучести $- /0,7...0,85/R_{\text{бтн}}(t_0)$; подчеркивается, что существующие теории ползучести не прогнозируют деформирование ступенчато-нагруженного бетона, т.е. в их основе заложены испытания бетона при постоянных напряжениях, т.е. при "0" режиме нагружения.

Для учета увеличения области линейной ползучести при расчете элементов конструкций, загружаемых по режимам типа "2", предлагается следующая функция нелинейности

$$f_c[\eta(\sigma_{\text{бтн}})] = 1 + V_c [\eta(t_0) - \theta(t_0, t_0)]^{M_c}, \quad (10)$$

где: V_c и M_c - согласно Рекомендаций по расчету железобетонных конструкций с учетом ползучести и усадки тяжелого бетона

$\theta(t_0, t_0) = \theta_0^{\text{ли}} (1 - e^{-\lambda(t_0, t_0)})$ - функция учитывающая влияние скорости /времени/ формирования напряжений в бетоне на нелинейность деформаций ползучести;

t_0 - возраст бетона в момент начала приложения нагрузки;

t_1 - возраст приложения очередной ступени нагрузки;

$\theta_0^{\text{ли}}$ - разница между границами линейной ползучести при режимах "0" и "2".

Длительное нагружение железобетонных образцов, выполненное с целью определения влияния армирования на прочностные свойства бетона при нагружении возрастающими нагрузками, сопровождается существенным перераспределением усилий между бетоном и арматурой; связанные с определенными сложностями при определении уровня напряжений в бетоне. В опытах с железобетонными призмами использовали диаграмму $\sigma_c \sim \epsilon_c$ растяжения "свободной" арматуры, что позволило получить достаточно точную систему отсчета и при наличии "реальной" диаграммы, т.е. диаграммы сжатой обетонированной арматуры, всегда могла быть пересчитана. Такую диаграмму $\sigma_{\text{сж}}^* \sim \epsilon_{\text{сж}}^*$ удалось получить на основании сопоставления деформаций бетонных и железобетонных образцов, предполагая, что при одинаковом их деформировании в бетоне близки также и напряжения. При таком подходе сравнение диаграмм обетонированной и необетонированной арматур

позволило сделать вывод о повышении $\sigma_{\alpha 2}$ обетонированной арматуры на 25% и что напряжения в бетоне железобетонных образцов не превышали $0,92 R_{\text{бтм}}(t)$. Сопоставление кривых кратковременной прочности, определяемой до разрушения бетонных и железобетонных образцов, выявляет две характерные точки $\eta_{\text{бтм}}''(t_k) = 0,91$ и $\eta_{\text{бтм}}''(t_k) = 1,02$, различие которых связано с учетом или неучетом увеличения сопротивления обетонированной арматуры.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Для длительных ступенчато-возрастающих режимов приложения сжимающей нагрузки "2", состоящих из участков со значительным $t_k - t_0$, незначительным $t_k - t_1$ и нулевым углом наклона, доказана возможность применения способа определения длительной прочности, разработанного ранее для постоянной нагрузки, т.е. для режима "0"; необходимо только учитывать, что окончание процесса приложения нагрузки происходит при $t = t_k$ а не $t - t_0$. В проведенных опытах, при рассмотрении тяжелого бетона В30 в обычных условиях, относительная длительная прочность $\eta_{\text{бтм}}''(t_k)$ составила: при режиме приложения нагрузки "0" - 0,82; "2" - 1,18.

2. Длительное прозвучивание нагруженных образцов выявило, что в условиях режима "0" и уровне напряжений в бетоне $\eta_{\text{бтм}}''(t_k) > 0,80$, происходят понижения скоростей ультразвуковых импульсов т.е. разуплотнение бетона, а при режиме "2", даже при значительно более высоких уровнях напряжений, такого разуплотнения нет. Поскольку режимы "2", близкие к реальным режимам загрузки строительных конструкций не приводят на начальной стадии к нарушению структуры бетона, определение длительной прочности, в практических целях, необходимо выполнять применительно к этому режиму, а не режиму "0", как это фактически делается в настоящее время. Использование режима "0", как правило, приводит к учету влияния на длительную прочность несуществующего в реальных условиях начального разуплотнения бетона и соответствующего понижения ее.

3. Результаты опытов, включающих дополнительное действие периодически повторной нагрузки на бетон, ранее нагруженному по режиму "2", показали существенный запас прочности по сравнению с бетоном, нагруженным по режиму "0".

4. Опытами установлено существование оптимальной продолжительности загрузки бетона с точки зрения получения максимальной его прочности.

5. На основании данных по прозвучиванию бетонных образцов ультразвуковым импульсом получена формула (9), позволяющая определять время разуплотнения Δt_0 структуры бетона, окончание которого соответствует плавному переходу из нелинейной ползучести в линейную. На основе этой формулы предложен новый способ определения длительного сопро-

тивления бетона, с помощью которой выполнена проверка результатов, полученных механическим путем применительно к образцам, загруженным по режимам "0" и "2".

6. Показано, что учет увеличения области линейной ползучести при расчете элементов конструкций, загружаемых по режимам типа "2", возможен при использовании в существующей теории ползучести соответствующей функции ϵ -линейности (ϵ_0).

7. Выявлено, что предельные напряжения в бетоне железобетонного стержня не превышают относительной длительной прочности бетона R_{bm}^0 .

8. На основе полученных экспериментальных данных, данных других авторов и опыта применения соответствующих положений СНиП 2.03.01-84, усовершенствованы рекомендации по определению коэффициентов условий работы $\gamma_{\text{вс}}$, учитывающие класс применяемого бетона, сроки возведения сооружения /конструкции/ и сочетание действующих нагрузок. Показано, что применение изложенной методики определения коэффициентов условий работы $\gamma_{\text{вс}}$ при практическом проектировании может привести к увеличению расчетной нагрузки до 15%, или экономии цемента и арматуры до 3...8%.

Основные положения диссертации опубликованы в работах:

1. Прокопович И.Е., Кобринец В.М., Твардовский И.А. Влияние режимов нагружения на прочность бетона естественного твердения // Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику. Тез. докл. республик. науч.-техн. конф. 17-19 окт. - 1989. - Полтава. - с. 160-161.

2. Кобринец В.М., Заволока Ю.В., Твардовский И.А. О несущей способности сжатых железобетонных стержней // К. "Будівельник", Строительные материалы и конструкции. - №4. - 1988. - с. 35-36.

3. Прокопович И.Е., Кобринец В.М., Половец В.И., Твардовский И.А. Влияние режима приложения сжимающей нагрузки на длительное сопротивление бетона // М., "Стройиздат", Бетон и железобетон. - №6. - 1991. - с. 6-8.

4. Прокопович И.Е., Кобринец В.М., Твардовский И.А. Выбор коэффициентов условий работы тяжелого бетона $\gamma_{\text{вс}}$ при учете всех нагрузок // М., "Стройиздат", Бетон и железобетон. - №7. - 1991. - с. 11-12.

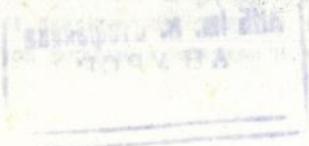
АНБ им. В. Стефаньки
АН УРСР

Подп. к печати 9.12.92г. Формат 60x84 I/I6.

Объем 0,7уч.изд.л. I, Оп. л. Заказ № 3117. Тираж 100экз.

Гортипография Одесского управления по печати, дех№3.

Ленина 49.



469898

AB 26.598