

05.23.01
Б 18

Челябинский государственный технический
университет

На правах рукописи

БАЙБУРИН АЛЬБЕРТ ХАЛИТОВИЧ

РАННЕЕ НАГРУЖЕНИЕ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
МНОГОЭТАЖНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

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

Челябинск
1992

Работа выполнена в Челябинском государственном техническом университете.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
С. Г. Головнев.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Ю. А. Ивашенко;
кандидат технических наук
С. И. Демаков.


Ведущая организация - институт ЮжуралНИИстрой г. Челябинска.

Защита состоится "20" мая 1992 г., в "15" часов, на заседании специализированного совета К 053.13.05 в Челябинском государственном техническом университете по адресу: 454080, Челябинск, пр. им. В. И. Ленина, 76, ауд. 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан " " 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук

 Р. В. Трегулов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Значительное увеличение объемов монолитного домостроения, имеющего ряд существенных преимуществ, вряд ли возможно без кардинального улучшения всего комплекса научно-исследовательских и проектно-конструкторских работ с учетом особенностей возведения зданий, в том числе в зимних условиях. Монолитное домостроение в районах с длительным зимним периодом сопряжено с большими дополнительными затратами и увеличением продолжительности строительства. Значительно снизить затраты и сократить сроки возведения монолитных конструкций позволяет технология их раннего нагружения. При этом ресурсосберегающий эффект достигается за счет ускорения сроков распалубки и загрузка конструкций с учетом темпов строительства, режимов нагружения, особенностей работы конструкций и свойств бетона раннего возраста. Поэтому определение параметров раннего нагружения (прочностных и деформативных характеристик бетона в процессе нагружения, интенсивности, режима и длительности нагружения) монолитных конструкций гражданских зданий во взаимосвязи с особенностями их возведения и конструктивной работы в зимних условиях является актуальной проблемой.

Целью диссертационной работы является определение параметров раннего нагружения монолитных конструкций многоэтажных гражданских зданий в зимних условиях с учетом особенностей их возведения.

Научную новизну работы составляют:

результаты исследований деформативных и прочностных характеристик тяжелого бетона при раннем нагружении в условиях отрицательных температур и оттаивания;

аналитические зависимости изменения прочности и деформативности бетона раннего возраста в условиях отрицательных температур и последующего оттаивания;

методика расчета основных параметров раннего нагружения монолитных стен и перекрытий в зимних условиях;

уточненная методика расчета несущей системы монолитных зданий в стадии возведения;

результаты опытно-производственной проверки значений параметров раннего нагружения монолитных конструкций при возведении 16-этажного жилого дома.

На защиту выносятся:

результаты экспериментальных исследований влияния раннего нагружения тяжелого бетона при осевом и внецентренном сжатии и изгибе на его физико-механические свойства в условиях отрицательных температур и последующего оттаивания;

установленные опытным путем количественные зависимости, характеризующие влияние отрицательных температур и оттаивания на прочность и деформативность бетона, нагруженного в раннем возрасте; значения допустимой интенсивности нагружения бетона при сжатии и изгибе и уточненная методика расчета монолитных зданий в стадии возведения с учетом параметров раннего нагружения;

результаты натурных исследований реальных монолитных конструкций при их раннем нагружении в зимних условиях;

основные принципы и последовательность расчета параметров и проектирования технологии раннего нагружения; результаты натурных исследований температурных и прочностных полей в монолитных конструкциях при ускоренном возведении 16-этажного сборно-монолитного дома в зимних условиях.

Практическая ценность работы заключается в уточнении методики расчета монолитных зданий в стадии возведения с учетом параметров раннего нагружения и низкотемпературных воздействий; в установлении и опытно-производственной проверке значений параметров раннего нагружения монолитных стен и перекрытий в зимних условиях; в разработке принципов и последовательности расчета параметров и проектирования ресурсосберегающей технологии раннего нагружения данного класса конструкций.

Апробация и публикация работы.

Основные результаты работы докладывались на Всесоюзном совещании по железобетону (Казань, 1989 г.), научно-техническом семинаре "Интенсификация бетонных работ в строительном производстве" (Челябинск, 1989 г.), совещаниях технического совета в строительных подразделениях ТСО "Сжуралстрой" (1990-1991 гг.) и 42, 43 и 44-й научно-технических конференциях ЧТУ (1989- 1991 гг.). Основные положения диссертации опубликованы в 4 печатных работах и одном авторском свидетельстве на изобретение.

Достоверность результатов работы подтверждается методами статистической обработки опытных данных; выбором адекватных математических моделей зависимостей, полученных при реализации

планов экспериментов; достаточным количеством опытных образцов; сходимостью результатов в сериях и дублированием отдельных серий экспериментов; данными натурных исследований и внедрения.

Внедрение результатов работы осуществлено на объектах объединения "Челябметаллургстрой" при возведении 16-этажных сборно-монолитных жилых домов. Экономический эффект в сумме 53,56 тыс. рублей (в ценах 1984 г.) получен за счет снижения себестоимости бетонных работ и сокращения сроков строительства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, библиографического списка из 162 наименований и четырех приложений. Она содержит 211 страниц, включая 148 страниц текста, 42 таблицы и 44 рисунка.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ расчетных положений СНиП 2.03.01-84 показал, что расчет монолитных конструкций в стадии возведения в зимних условиях не учитывает целого ряда важных факторов: влияние раннего нагружения на свойства бетона, воздействие отрицательных температур, процессы микротрещинообразования и модификации структуры бетона под нагрузкой при замораживании и оттаивании, длительность этих процессов. По мнению проф. Е. Н. Шербакова, расчетные положения действующих норм только в самых общих чертах отражают сложные закономерности физической нелинейности, индивидуальных особенностей бетона и условий работы конструкций.

Основными элементами несущей системы монолитных зданий являются конструкции стен и перекрытий. В соответствии с требованиями норм, прочность бетона при распалубке и частичном нагружении монолитных стен устанавливается в широких пределах (от критической при замерзании до 70 % проектной), в то время как для монолитных перекрытий строго соблюдаются положения СНиП 2.03.01-87 по распалубке в ненагруженном состоянии (70...80 % проектной) и при частичном нагружении (70...100 % проектной). Требование высокой распалубочной прочности монолитных конструкций приводит к значительной энергоемкости их тепловой обработки, снижению качества конструкций в результате длительного теплового воздействия и увеличению продолжительности строительства. Вследствие этого предпочтение отдается

сборным перекрытиями, несмотря на то, что они на 10...15 % дороже монолитных и требуют больших суммарных энергетических затрат при изготовлении.

Недостатки монолитных конструкций, связанные с необходимостью их длительного выдерживания в опалубке до набора бетоном требуемой прочности, могут быть преодолены при использовании приема раннего нагружения, позволяющего полнее реализовать конструкционные возможности бетона за счет активного воздействия на его структурообразование в раннем возрасте.

Анализ литературы показал, что наиболее полно разработаны вопросы раннего нагружения фундаментов промышленных зданий и мостовых опор, на основе экспериментально-теоретических исследований О. Я. Берга, С. Г. Головнева, А. Е. Десова, К. С. Карапетяна, В. Е. Мекаричева, М. Л. Моховой, Н. А. Мощанского, Г. В. Мурашкина, О. П. Мчедлова-Петросяна, А. В. Саталкина, В. А. Сенченко, И. И. Темнова, И. И. Улицкого, А. В. Яшина и др. Исследования раннего нагружения бетона применительно к монолитным конструкциям гражданских зданий с учетом технологического аспекта их возведения в зимних условиях не проводилось. На основании проведенного анализа в работе была реализована следующая схема исследований (рис. 1).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НАГРУЖЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИХ РАННЕГО НАГРУЖЕНИЯ

Поскольку вертикальные нагрузки равномерно распределены по высоте монолитных стен (так как передаются на них равными частями от каждого междуэтажного перекрытия), а эпюра моментов от ветровой нагрузки с некоторым приближением в запас прочности может быть принята линейной, суммарные нагрузки на вертикальные элементы можно также принять равномерно распределенными по их высоте. С учетом этого требуемую прочность монолитных стен на i -м этаже автором предлагается рассчитывать по формуле

$$R_i = \alpha \beta \frac{r_i}{N} R_{20}, \quad (1)$$

где α - отношение максимальной нагрузки в стадии возведения (технологической) к эксплуатационной нагрузке; β - коэффициент допустимой интенсивности нагружения (отношение величин

Общая схема исследований

Раннее нагружение монолитных конструкций многоэтажных гражданских зданий в зимних условиях

Технологический режим нагружения монолитных конструкций и обоснование методики расчета параметров их раннего нагружения	Экспериментальные исследования прочности и деформативности тяжелого бетона при раннем нагружении в условиях отрицательных температур	Расчет монолитного здания в стадии возведения и опытно-производственная проверка параметров раннего нагружения монолитных конструкций	Особенности возведения монолитных зданий при раннем нагружении конструкций. Результаты внедрения и технико-экономическая эффективность
Технологический режим нагружения монолитных стен и обоснование методики расчета параметров их раннего нагружения	Методика экспериментальных исследований	Расчет несущей системы монолитного здания с учетом параметров раннего нагружения бетона	Основные принципы и последовательность расчета параметров и проектирования технологии раннего нагружения монолитных конструкций многоэтажных гражданских зданий в зимних условиях
Технологический режим нагружения монолитных перекрытий и обоснование методики расчета параметров их раннего нагружения	Экспериментальные исследования раннего нагружения бетона при осевом и внецентренном сжатии в условиях отрицательных температур и оттаивания	Натурные исследования монолитных плит перекрытий при их раннем нагружении в зимних условиях	Натурные исследования температурных и прочностных полей в монолитных конструкциях при ускоренном возведении 16-этажного сборно-монолитного дома в зимних условиях
Учет параметров раннего нагружения бетона при расчете несущей системы монолитных зданий	Экспериментальные исследования раннего нагружения бетона при изгибе в условиях отрицательных температур и оттаивания	Натурные исследования монолитных стен при их раннем нагружении в зимних условиях	
Назначение коэффициентов допустимой интенсивности нагружения конструкций	Экспериментальные исследования твердения бетона под нагрузкой при воздействии отрицательных температур и оттаивания	Экспериментальные исследования влияния отрицательных температур на прочность и модуль упругости нагруженного бетона	Основные результаты внедрения и технико-экономическая эффективность новой технологии

усилия от нагрузки к разрушающему усилию), определяемый опытным путем; R_i - номер i -го этажа при счете сверху, начиная с последнего, возведенного в зимних условиях; N - общее количество этажей; R_{28} - проектная прочность бетона.

Коэффициенты α и β должны назначаться с некоторым запасом, тем большим, чем меньше расчетная прочность бетона, с целью обеспечения достаточной надежности работы конструкций. По мнению профессора П. Ф. Дроздова, необходимость такого запаса при расчете монолитных конструкций в стадии возведения обосновывается рядом причин, а именно: повышенной (по сравнению со зрелым бетоном) статистической изменчивостью физико-механических свойств бетона в раннем возрасте, опасностью потери устойчивости стен вследствие снижения модуля упругости бетона, затрудненностью лабораторного анализа монолитного бетона и выбраковки дефектного бетона. Все эти факторы не могут быть полностью учтены коэффициентами запаса СНиП 2.03.01-84.

Анализ технологического режима нагружения монолитных перекрытий показал, что максимальная нагрузка в стадии возведения определяется принятой технологией работ и видом опалубки и может составлять от 20 до 70 % полезной эксплуатационной, причем уровень технологической нагрузки по отношению к эксплуатационной уменьшается с увеличением пролета.

Исходя из проведенного анализа автором предложена следующая формула для определения требуемой к моменту нагружения прочности бетона перекрытий (из расчета изгибаемых элементов по первой группе предельных состояний):

$$R_B = 0,5(R_s A_s)^2 / (R_s A_s h_0 - \beta M_c) \beta, \quad (2)$$

где R_s, A_s - расчетное сопротивление и площадь арматуры; h_0, b - полезная высота и ширина расчетного сечения; M_c - момент от технологической нагрузки, возникающий в расчетном сечении; β - коэффициент допустимой интенсивности нагружения, учитывающий, кроме того, требования по ограничению ширины раскрытия трещин и прогибов и определяемый расчетно-экспериментальным путем.

Значения требуемой прочности, вычисляемые по формулам (1) и (2), должны превышать величину критической прочности бетона при замерзании, а также величину минимальной прочности бетона из расчета на местное действие технологических нагрузок.

Снижение распалубочной прочности монолитных конструкций

приводит к перераспределению усилий во всех элементах несущей системы монолитного здания. Поэтому при расчете конструкций в стадии возведения должны учитываться параметры раннего нагружения: прочность, модуль упругости и мера ползаучести бетона с учетом замораживания и оттаивания, а также податливость швов бетонирования и монолитных перемычек.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАТИВНОСТИ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА ПРИ РАННЕМ НАГРУЖЕНИИ В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ОТТАИВАНИЯ

Работа бетона в монолитных стенах и перекрытиях моделировалась центрально и внецентренно сжатыми бетонными призмами и изгибаемыми железобетонными балками. Размеры бетонных призм и величина эксцентриситета подбирались из условия гибкости $\lambda > 14$ и ограничения минимального значения сжимающих напряжений $\sigma_c > 1,0$ МПа. Размеры образцов и условия их изоляции от высыхания соответствовали немассивным (тонкостенным) конструкциям. Для железобетонных балок размером 8x16x140 см, нагруженных двумя сосредоточенными силами, соблюдались требования подобия материалов, характеристик сечения, коэффициента армирования. Опытные образцы замораживались в камере низких температур КНТ-1М (полезным объемом 16 м³) до температуры минус 15...30 °С и загружались в пружинных установках.

Исследования ползаучести бетона показали, что влияние отрицательных температур на деформации ползаучести может быть учтено температурной функцией $K(T)$, уменьшающей величину стандартной меры ползаучести:

$$K(T) = \alpha \exp(\beta(T-20)), \quad (3)$$

где α, β - опытные коэффициенты; T - температура замораживания, °С.

Среднее значение температурной функции $K(T)$, найденное опытным путем, равно 0,20 и 0,12 соответственно при температуре минус 15 и минус 30 °С.

Установлено, что кривые продольных деформаций ползаучести при замораживании изменяют свою форму на более пологую и могут быть аппроксимированы по формуле

$$c(t_0; t; T) = K(T)c(t_0; t)(1 - k_T e^{-\delta K(t-t_0)}), \quad (4)$$

где $R(t_0, t)$ - стандартная предельная мера ползучести бетона, загруженного в возрасте t_0 ; k_T, δ_T - коэффициенты при функции нарастания деформаций ползучести во времени, величина которых для условий отрицательных температур T устанавливается по формулам:

$$\begin{aligned} k_T &= R(1 - 0,012(T - 20)), \\ \delta_T &= \delta(0,71 + 0,014T), \end{aligned} \quad (5)$$

где R, δ - значения коэффициентов при испытаниях в нормальных условиях.

Предельная мера ползучести после оттаивания в среднем на 30 % меньше значений, полученных в нормальных условиях - при температуре (20 ± 2) °C и относительной влажности (60 ± 5) %. Это происходит вследствие влияния начального замораживания на процессы деформирования, микротрещинообразования и модификации структуры бетона под длительной нагрузкой. При снижении прочности бетона с 60...80 до 20...40 % проектной предельная мера ползучести увеличивается в 1,5...2 раза (при рабочем уровне напряжений 0,3...0,75), что необходимо учитывать при расчете монолитных зданий в стадии возведения.

Рабочие образцы, загруженные уровнем нагрузки 0,3...0,75 от разрушающей при прочности бетона $(0,2...0,8)R_{28}$, на 90...180 суток показали прирост прочности по сравнению с ненагруженными образцами нормального твердения в среднем на 28 и 22 % и модуля упругости - на 19 и 15 % соответственно для случая внецентренного и осевого сжатия. Эти данные подтверждаются результатами ультразвуковых исследований, показавшими увеличение плотности цементного камня.

Установлено, что параметрические точки микротрещинообразования, определенные ультразвуковыми исследованиями и измерением поперечных деформаций, подвижны и смещаются в сторону увеличения с ростом прочности бетона в момент нагружения. Это подтверждается анализом регрессионных уравнений, полученных при реализации плана эксперимента, в котором в качестве факторов варьировались прочность при нагружении R_0 и интенсивность нагрузки η , а откликом служила величина упрочнения ΔR после оттаивания и последующего твердения. Для одного из составов бетона:

$$\Delta R = 103,00 + 4,39R_0 - 2,67\eta + 0,50R_0^2. \quad (6)$$

На основании полученных уравнений были определены значения коэффициента допустимой интенсивности нагружения β , используемые в формуле (1).

Экспериментальные исследования раннего нагружения железобетонных балок при $R_0 = (0,35 \dots 0,65) R_{28}$ и $\eta = 0,3 \dots 0,7$ показали, что в условиях отрицательных температур рост деформаций ползучести бетона сжатой зоны и прогибов прекращается уже на 5...7 суток. Трещины возникают лишь при $R_0 = 0,35 R_{28}$ и $\eta = 0,7$. Это, очевидно, связано с явлениями морозного упрочнения бетона, смерзания начальных микротрещин и включения льда в процессы деформирования бетона, что приводит к увеличению прочности бетона на растяжение. После оттаивания рост деформаций ползучести бетона сжатой зоны и прогибов прекращается на 100...150 суток. Ширина раскрытия трещин к этому моменту составляет 0,06...0,35 мм, прогибы - 1/462...1/219 пролета. По сравнению с нормальными условиями ширина раскрытия трещин после начального замораживания и последующего оттаивания уменьшается на 15...60 %, величина прогибов - на 16...24 %. Таким образом, при раннем нагружении жесткость и трещиностойкость балок увеличивается.

Для балок с количеством арматуры, близким к предельной величине ($\xi = \xi_R$), установлено существенное влияние раннего нагружения на несущую способность (прирост по сравнению с ненагруженными балками на 25...27 %). В малоармированных балках прирост прочности оказался меньшим (до 7 %), так как в этом случае упрочнение бетона сжатой зоны в виду ее малой относительной величины практически не влияет на несущую способность изгибаемых элементов.

По опытным данным прироста несущей способности и результатам расчета изгибаемых элементов по второй группе предельных состояний были найдены значения коэффициента допустимой интенсивности нагружения перекрытий β , используемые в формуле (2).

Как известно, температурные деформации и изменения структуры бетона при замерзании зависят от результирующего действия двух групп взаимнопротивоположных сил - сил смерзания на границах раздела фаз и сил внутреннего давления образующегося льда, нарушающих внутреннюю связь компонентов бетона. Для количественной оценки влияния этих процессов исследовались деформации и увеличение прочности и модуля упругости бетона, замороженного при достижении им прочности $(0,2 \dots 1,0) R_{28}$ до тем-

пературы минус 5...25°C. По результатам исследований построены следующие регрессионные модели увеличения прочности ΔR и модуля упругости ΔE при замораживании до температуры T :

$$\Delta R = 145,36 - 15,37R_0 - 58,11T + 19,92R_0T - 73,09R_0^2 + 83,06T^2, \quad (7)$$

$$\Delta E = 112,83 - 9,78R_0 - 30,00T + 14,43R_0T - 24,05R_0^2 + 37,21T^2.$$

По опытным и расчетным данным были построены кривые прироста прочности и модуля упругости бетона для вышеуказанных условий, которые удовлетворительно (с точностью до 15 %) аппроксимируются выражениями:

$$\begin{aligned} \Delta R(T) &= (881/R_0 - 0,076R_0) \exp(-0,10T), \\ \Delta E(T) &= (133/R_0 - 0,017R_0) \exp(-0,15T). \end{aligned} \quad (8)$$

Оценка надежности и достоверности экспериментальных данных показала, что значения коэффициента вариации при измерении деформаций находились в допустимых пределах (4,8...9,4 %), при этом показатель точности составил 1,7...3,3 %, что говорит о достаточной надежности экспериментальных данных. Полученные данные о приросте прочности образцов также обладают малой изменчивостью ($V < 4,9$ %) и надежны ($p < 2,3$ %). Построенные математические модели, оцененные по критерию Фишера и отклонению расчетных величин от опытных, адекватно описывают экспериментальные зависимости.

РАСЧЕТ МОНОЛИТНОГО ЗДАНИЯ В СТАДИИ ВОЗВЕДЕНИЯ И ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ПРОВЕРКА ПАРАМЕТРОВ РАННЕГО НАГРУЖЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Расчет несущей системы 16-этажного монолитного здания с учетом параметров раннего нагружения производился методом конечных элементов с использованием вычислительного комплекса "ЛИРА". Рассматривались два случая расчета при максимально возможных темпах возведения: в зимних условиях и после оттаивания бетона. Для определения коэффициента α в формуле (1) несущая система рассчитывалась на эксплуатационные нагрузки.

Прочность бетона стоек на i -м этаже принималась из расчета по формуле (1), прочность и модуль упругости замороженного бетона - по формулам (8). Для условий отрицательных температур

$T(t)$ полные деформации бетона в момент времени t

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t; T)} - \int_{t_0}^t \sigma(\tau) \frac{\partial}{\partial \tau} \left[\frac{1}{E(\tau; T)} + C(\tau; t; T) \right] d\tau + \alpha_{\beta T} T(t), \quad (9)$$

где $\alpha_{\beta T}$ - коэффициент линейной температурной деформации бетона.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить значения упругой и пластической составляющих $E(t)$ в формуле (9). На основании (9) учет ползучести бетона и влияния податливости горизонтальных швов бетонирования и перемычек производился введением временного модуля деформаций:

$$E(t; T) = K_{lin} E(t_0; T) / \left[(1 + C(t_0; t; T) E(t_0; T)) (1 + \lambda_m (1 + C(t_0; t; T) E(t_0; T)) / H_{\text{эт}}) \right], \quad (10)$$

где K_{lin} - коэффициент уменьшения модуля деформаций с учетом фактической жесткости перемычек на каждом этаже до и после образования трещин; λ_m - коэффициент податливости горизонтальных швов бетонирования; $H_{\text{эт}}$ - высота этажа; $C(t_0; t; T)$ - мера ползучести замороженного бетона, определяемая по формулам (4) и (5).

При расчете в стадии оттаивания вводились соответствующие характеристики бетона с учетом влияния начального замораживания.

Анализ результатов расчета показал, что коэффициент α в формуле (1) равен 0,72...0,80 (из соображений надежности коэффициент α принят равным 0,9). При учете параметров раннего нагружения бетона наблюдалось снижение продольных усилий в столбах стен в результате перераспределения на 5...20% и перерезывающих сил в перемычках на 10...25% (за счет увеличения податливости перемычек). Прогобы при этом возрастали на 20% в зимних условиях и в 2 раза после оттаивания. Максимальные сжимающие напряжения в простенках первого этажа не превысили 80% от расчетной прочности бетона после оттаивания. Расчетами установлено, что изменения проектного армирования монолитных конструкций при раннем нагружении не требуется.

Опытно-производственная проверка значений параметров раннего нагружения монолитных конструкций осуществлялась при возведении двух 16-этажных сборно-монолитных жилых домов в г. Челябинске. В натуральных условиях испытывались на максимальную нагрузку в стадии возведения (до 0,8 от нормативного значе-

ния) конструкции плит перекрытий (ПП-1 и ПП-2), заземленные по трем сторонам, и плит лоджий (ПЛ-1 и ПЛ-2), заземленные по двум коротким сторонам. Размеры конструкций - соответственно 4,10x4,43 и 4,10x1,20 м при толщине 16 см и пролете в свету 4.1 м. Испытания проводились при температуре воздуха 0...2 °С, поэтому морозного упрочнения бетона не происходило.

Конструкции нагружались равномерно распределенной нагрузкой в три этапа (таблица). Величина нагрузки на третьем этапе по создаваемым в плитах моментам была эквивалентна максимальной технологической, возникающей при бетонировании вышележащего этажа. С помощью высокоточного нивелира И-0,5 с инварной рейкой и микроскопа МПБ-2 измерялись прогибы и ширина раскрытия трещин во время испытаний и после снятия нагрузки до установления постоянных значений в течении 50...60 суток. Из данных таблицы видно, что кратковременные прогибы и ширина раскрытия трещин не превысили допустимых значений (соответственно $f < \ell/150 = 31$ мм и $a_{cr,c} < 0,40$ мм).

Таблица
Прогибы и ширина раскрытия трещин в пролете конструкций по данным двух испытаний

Конструкция	Прочность бетона, % R_{28} (В15)	Армирование, см ² /м			Нагрузка на этажах, Н/мм ² · 10 ³	Прогиб, мм		Ширина раскрытия трещин, мм	
		$A_{s,f}$ Вр-1	$A_{s,l}$ Вр-1	$A_{s,I} = A_{s,II}$ А-III		f	f_l	$a_{cr,c}$	$a_{cr,l}$
ПП-1	52	1,31	0,63	2,51	4,0	3,8	8,4	0,15	0,25
ПП-2					5,4	6,2	-	0,20	-
					6,1	7,4	-	0,25	-
ПЛ-1	48	2,62	1,26	2,51	4,0	4,2	9,8	0,05	0,20
ПЛ-2					5,4	6,3	-	0,13	-
					6,1	7,9	-	0,18	-

Наблюдения за другими конструкциями - дополнительно исследовано 12 перекрытий, - загруженными реальными технологическими нагрузками, показали, что длительные прогибы плит перекрытий,

пролетом 2,85 и 4,1 м, распалубленных при достижении бетоном прочности в среднем 40 и 50 % соответственно, не превысили $1/608$ и $1/374$ пролета, ширина раскрытия трещины составила - 0,20 и 0,25 мм (при допустимых значениях $f_t < 1/168$ пролета и $\Delta_{кр,1} < 0,3$ мм).

Таким образом, расчетные значения прочности бетона плит перекрытий при их раннем нагружении с учетом оттаивания удовлетворяли требованиям второй группы предельных состояний.

Для проверки установленных параметров раннего нагружения измерялись деформации монолитных стен в процессе возведения и деформации бетонных призм размером $10 \times 10 \times 40$ см при ступенчато-возрастающем нагружении в условиях строительной площадки. Обнаружено, что в реальных условиях на деформации ползучести бетона значительно влияют климатические условия. В осенне-зимний период наблюдался замедленный рост деформаций ползучести (до значений 20×10^{-5}), который интенсифицировался в весенне-летний период (60×10^{-5} при возведении 10-го этажа). Величины деформаций ползучести бетона при ступенчато-возрастающем нагружении в лабораторных условиях превысили аналогичные в условиях строительной площадки на 37,5 % и были на 9 % меньше значений, полученных при постоянной нагрузке.

Таким образом, принятый в лабораторных исследованиях постоянный уровень нагружения образцов менее благоприятен, чем фактический ступенчато-возрастающий режим нагружения монолитных стен (по гипотезе А. В. Саталкина - вследствие постепенного упрочнения наиболее слабых зерен цементного камня при ступенчатом нагружении). Поэтому расчетные деформативные характеристики бетона обеспечивают некоторый запас по показателю предельных деформаций.

Раннее нагружение монолитных стен в реальных условиях привело к увеличению их прочности на 16...23 %, что хорошо согласуется с результатами лабораторных исследований. Трещины в монолитных стенах при их раннем нагружении обнаружено не было. Максимальные отклонения опытных и расчетных величин напряжений сжатия в стенах на различных этапах возведения не превысили 15 %. Таким образом, производственная проверка параметров раннего нагружения показала удовлетворительную сходимость расчетных и действительных значений параметров.

ОСОБЕННОСТИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ РАННЕМ
НАГРУЖЕНИИ КОНСТРУКЦИЙ. РЕЗУЛЬТАТЫ ВНЕДРЕНИЯ
И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

На основании полученных результатов разработаны основные принципы и последовательность расчета параметров и проектирования технологии раннего нагружения. Проектная документация должна предусматривать данные об условиях и темпах строительства, величине нагрузок в стадии возведения, на основе которых производится расчет параметров раннего нагружения конструкций. В проекте производства работ указываются сроки распалубки и нагружения возводимых конструкций, особенности зимнего бетонирования и контроля качества бетона. Выбор методов и режимов тепловой обработки осуществляется с учетом соотношений требуемой прочности монолитных стен и перекрытий и темпов возведения здания в зимних условиях. Контроль прочности бетона при раннем нагружении конструкций производится комплексным методом с последующей статистической обработкой по ГОСТ 18105-86.

С целью обеспечения расчетных значений параметров раннего нагружения и изучения технологических особенностей возведения монолитных зданий в зимних условиях проводились натурные исследования температурных и прочностных полей в бетоне при камерном обогреве. Установлено, что раннее нагружение монолитных конструкций позволяет сократить продолжительность тепловой обработки, уменьшить температуру изотермического выдерживания и снизить скорость подъема температуры и остывания без увеличения общей продолжительности термообработки. В результате этого уменьшается неравномерность температур на всех стадиях тепловой обработки, ослабляются деструктивные процессы при тепло- и массопереносе в бетоне, снижаются температурные напряжения, что приводит к увеличению трещиностойкости и улучшению качества бетона.

Внедрение научных результатов выполненного исследования проведено на объектах монолитного домостроения объединения "Челябметаллургстрой". Экономический эффект в размере 53,56 тыс. рублей (в ценах 1984 г.) получен за счет уменьшения дополнительных затрат на зимнее бетонирование (на 4...8 руб/м³) и сокращения сроков строительства на 13 %.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что расчетные положения действующих норм проектирования бетонных и железобетонных конструкций недостаточно учитывают сложные закономерности физической нелинейности, индивидуальных особенностей бетона и условий работы конструкций. Это относится и к расчетам монолитных конструкций в стадии возведения с учетом раннего нагружения и низкотемпературных воздействий. Основными элементами несущей системы монолитных гражданских зданий являются конструкции стен и перекрытий. Нормативные сроки их распалубки и нагружения в стадии возведения сдерживают темпы строительства и приводят к большим дополнительным затратам на зимнее бетонирование. Значительно снизить затраты и сократить сроки строительства возможно за счет раннего нагружения конструкций.

2. Предложены аналитические зависимости для определения прочности бетона монолитных стен и перекрытий в стадии возведения. Установлено, что при расчетах конструкций в этих условиях необходимо учитывать изменение прочности, модуля упругости и меры ползучести бетона с учетом замораживания и последующего оттаивания, податливость швов бетонирования и монолитных перемычек.

3. Определено совместное влияние нагрузки, отрицательных температур и последующего оттаивания на прочностные и деформативные характеристики бетона при осевом и внецентренном сжатии и изгибе. Установлено, что предельная мера ползучести бетона при замораживании до минус 15°C снижается в среднем на 30, а до минус 30°C - на 88 % по сравнению с нормальными условиями. Предложена экспоненциальная температурная функция для учета этого явления в расчетах железобетонных конструкций. Изменение формы кривых ползучести при замораживании предложено учитывать корректировкой коэффициентов при функции наследственности в зависимости от температуры. Предельная мера ползучести после оттаивания в среднем на 30 % меньше значений, полученных в нормальных условиях. Такое влияние начального замораживания на деформативность бетона, наряду с установленным увеличением ползучести бетона в раннем возрасте, предлагается учитывать при расчете железобетонных конструкций в стадии возведения.

4. Установлено, что параметрические точки микротрещинообразования, определенные ультразвуковыми исследованиями и измерением поперечных деформаций, подвижны и смещаются в сторону

увеличения с ростом прочности бетона в момент нагружения. Приrost прочности и модуля упругости бетона при раннем нагружении может достигать соответственно 48 и 40 % (при средних значениях 19...28 и 15...22 %). Установленное упрочнение бетона при расчетах конструкций целесообразно относить к факторам запаса. Предложены математические модели упрочнения бетона при длительном действии сжимающей нагрузки и определены значения допустимой интенсивности нагружения монолитных стен.

5. Экспериментальные исследования железобетонных балок в условиях раннего нагружения показали, что при отрицательной температуре развитие деформаций сжатой и растянутой зон, прогибов и трещин замедляется в результате смерзания начальных микротрещин, включения льда в процессы деформирования структуры бетона. После оттаивания и последующего твердения бетона конечные значения ширины раскрытия трещин уменьшаются по сравнению с нормальными условиями на 15...60 %, величина прогибов - на 16...24 % (т.е. жесткость и трещиностойкость балок увеличивается). Приrost прочности балок может достигать 25...27 %. Расчетно-экспериментальным путем определены предельные значения интенсивности нагружения монолитных перекрытий.

6. На основании экспериментальных исследований предложены аппроксимирующие функции увеличения прочности и модуля упругости бетона при замораживании, анализ которых показал, что величина упрочнения зависит от температуры замораживания и начальной прочности бетона, увеличиваясь с уменьшением последних. Оценка надежности и достоверности статистической совокупности экспериментальных данных показала, что коэффициент вариации находился в допустимых пределах (4,8...9,4 %). При этом показатель точности был меньше 5 %, что говорит о достаточной надежности экспериментальных данных.

7. На основе полученных результатов уточнена методика расчета монолитных зданий в стадии возведения. Расчетами на ЭВМ установлено, что при раннем нагружении продольные усилия в стенах и поперечные силы в перемычках в результате перераспределения уменьшаются на 5...25 % при соответствующем увеличении изгибающих моментов и прогибов. Главные сжимающие напряжения в стенах после оттаивания не превышают 80 % прочности бетона при максимально возможных темпах возведения. Расчетами установлено, что изменения проектного армирования монолитных конструкций не требуется.

8. Испытания четырех опытных конструкций перекрытий и

раннее нагружение двенадцати других реальных плит перекрытий и лоджий при опытно-производственной проверке значений параметров раннего нагружения показали, что расчетные значения прочности бетона удовлетворяют требованиям второй группы предельных состояний с запасом 20...50 % и более. Фактические значения деформаций ползучести стен при ступенчатом нагружении и величина их упрочнения под нагрузкой (16...23 %) сопоставимы с данными лабораторных исследований. Максимальные отклонения расчетных величин напряжений сжатия в стенах от опытных не превысили 15 %, что свидетельствует о применимости уточненной методики расчета монолитных зданий в стадии возведения.

9. Определены основные принципы и последовательность расчета параметров и проектирования технологий раннего нагружения. Экономический эффект в сумме 53,56 тыс. рублей (в ценах 1984 года) получен при внедрении новой технологии на объектах объединения "Челябметаллургстрой" за счет уменьшения значений прочности бетона к моменту загрузки и, тем самым, снижения себестоимости зимнего бетонирования на 4...8 руб/м³ и сокращения сроков строительства на 13 %.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. А. с. N 1675499 СССР, МКИ Е 02 D 15/02. Способ возведения монолитных бетонных и железобетонных стен гражданских зданий в зимних условиях / А. Х. Байбури, Н. В. Юнусов, С. Г. Головнев и др.

2. Байбури А. Х., Юнусов Н. В., Головнев С. Г. Раннее нагружение монолитных конструкций гражданских зданий / Инф. листок ПКТИ ТСО "Южуралстрой". - Челябинск, 1991. - 2 с.

3. Технологический регламент на зимнее бетонирование с ускоренным нагружением монолитных конструкций жилых зданий / ГАКО "Челябметаллургстрой". - Челябинск, 1992. - 59 с.

4. Юнусов Н. В., Байбури А. Х. Некоторые вопросы ускорения возведения монолитных конструкций гражданских зданий в зимнее время // Интенсификация бетонных работ в строительном производстве: Тез. докл. науч.-техн. семина. - Челябинск, 1989. - С. 30-31.

5. Юнусов Н. В., Байбури А. Х. Технология прогрева и выдерживания бетона при возведении монолитных жилых зданий / Инф. листок ПКТИ ТСО "Южуралстрой". - Челябинск, 1989. - 2 с.

Головнев

Подписано к печати 01.04.92. Формат 60x90 1/16. Леч. л. 1.
Уч.-изд. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ 90/230.

ИОП ЧРТУ. 454080. Челябинск, пр. им. В.И.Ленина, 76.