



УДК 624.073

DOI: 10.22227/2949-1622.2023.2.13-21

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ/ RESEARCH ARTICLE

Раннее нагружение монолитных железобетонных конструкций

А.Х. Байбурин^{1*}¹Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Российская Федерация

*abayburin@mail.ru

Ключевые слова: железобетонные конструкции, монолитный бетон, раннее нагружение, прочность бетона, термообработка бетона

История статьи

Поступила в редакцию: 25.01.2023

Доработана: 30.01.2023

Принята к публикации: 12.02.2023

Для цитирования

Байбурин А.Х. Моделирование длительной эксплуатации железобетонной балки на грунтовом основании // Железобетонные конструкции. 2023. Т. 2. № 2. С. 13–21.

Аннотация. В статье приведен обзор существующих методов раннего нагружения монолитных конструкций. Показано, что выдерживание бетона до нормативной прочности без учета этапов нагружения приводит к существенному удорожанию работ, особенно в зимнее время. На основе экспериментальных исследований предложены формулы для расчета требуемой прочности к моменту нагружения монолитных фундаментов, стен, колонн, перекрытий. Даны указания по проектированию технологии раннего нагружения. Приведены результаты натурных испытаний перекрытий в условиях раннего нагружения. Описана технология поярусной термообработки монолитных конструкций.

Early Loading of Cast-in-Situ Reinforced Concrete Structures

Albert H. Baiburin^{1*}¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

*abayburin@mail.ru

Keywords: reinforced concrete structures, cast-in-situ concrete, early loading, strength, heat treatment

Article history

Received: 25.01.2023

Revised: 30.01.2023

Accepted: 12.02.2023

For citation

Baiburin A.H. Early Loading of Cast-in-Situ Reinforced Concrete Structures. *Reinforced concrete structures*. 2023;2(2):13–21.

Abstract. The article provides an overview of the existing methods of early loading of monolithic structures. It is shown that keeping concrete up to standard strength without taking into account the stages of loading leads to a significant increase in the cost of work, especially in winter. Based on experimental studies, formulas are proposed for calculating the required strength by the moment of loading of monolithic foundations, walls, columns, ceilings. Instructions are given on the design of early loading technology. The results of full-scale tests of floors under conditions of early loading are given. The technology of tiered heat treatment of monolithic structures is described.

Альберт Халитович Байбурин, доктор технических наук, профессор кафедры Строительное производство и теория сооружений Южно-Уральского государственного университета (НИУ ЮУрГУ), 454080, Челябинск, проспект Ленина, 76; eLIBRARY SPIN-код: 5927-9812, Scopus: 57194623014, E-mail: abayburin@mail.ru.

Albert H. Baiburin, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Construction Production and Theory of Structures, South Ural State University (NRU SUSU), 454080, Chelyabinsk, Lenina Prospekt, 76; eLIBRARY SPIN code: 5927-9812, Scopus: 57194623014, E-mail: abayburin@mail.ru.

© Байбурин А.Х., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ВВЕДЕНИЕ

Традиционная технология бетонных работ предполагает длительные технологические перерывы, связанные с выдерживанием бетона до достижения заданной распалубочной прочности. Это особенно касается монолитных перекрытий, на долю которых приходится 30–40 % объема железобетона, 20–25 % трудоемкости и до 30 % стоимости общестроительных работ [1]. При высокой стоимости современных опалубок и ограниченном количестве комплектов длительное выдерживание бетона приводит к существенному снижению темпов работ [2]. В зимних условиях проблема усугубляется. Замораживание бетона раньше срока может привести к ложному выводу о прочности и возможности нагружения конструкции. Так, например, обрушение перекрытия строящегося здания в г. Челябинске в 1994 году произошло при замораживании бетона в раннем возрасте при прочности около 10 % от проектного значения.

Строители, как правило, строго следуют строительным нормам, регламентирующим минимальные значения прочности в момент распалубки и нагружения. Вместе с тем у них есть стремление как можно быстрее снять опалубку и переставить ее на новую захватку. Для фундаментов, стен и колонн требуемые значения прочности при распалубке обычно невысокие (20–50 %), но для перекрытий они составляют 70–80 % от проектного класса [3]. Такие нормативы требуют длительных сроков выдерживания при мягких температурных режимах, либо высоких температур термообработки бетона. Прогрев бетона при температурах 70–80 °С ускоряет темпы работ, но приводит к значительным температурным градиентам, напряжениям и, часто, к возникновению трещин [4]. Мягкие же режимы термообработки отличаются относительно благоприятным термонапряженным состоянием конструкции, но не решают задач ускорения оборачиваемости опалубки.

МЕТОД

Значительно снизить затраты и сократить сроки возведения монолитных конструкций позволяет технология раннего нагружения. Экономический эффект технологии достигается за счет ускорения сроков распалубки и загрузки конструкций с учетом темпов строительства, режимов нагружения, особенностей работы конструкций и свойств бетона раннего возраста.

Первые исследования бетона раннего возраста под нагрузкой провел Саталкин А.В. в 30-е годы. Исследования показали, что эффект упрочнения обусловлен пластическим деформированием бетона и изменениями его структуры. Монография ученого была посвящена раннему нагружению мостовых опор [5]. Штаерманом Ю.Я. был предложен проект инструкции [6] по сверхраннему распалубливанию плоских железобетонных конструкций при прочности, зависящей от нагрузки, схемы опирания и пролета. Институт промсооружений обобщил накопленные исследования в указаниях по ускоренной распалубке железобетонных конструкций [7]. Исследованиям раннего нагружения бетона при осевом и внецентренном сжатии были посвящены работы многих зарубежных [8, 9] и отечественных ученых [10–12].

На кафедре «Технология строительного производства» ЮУрГУ под руководством проф. С.Г. Головнева (с участием автора) велись исследования по раннему нагружению бетона монолитных фундаментов, стен, колонн и перекрытий, в том числе в зимних условиях [10]. По результатам исследований было получено более 10 авторских свидетельств и патентов, защищено несколько кандидатских диссертаций.

Сущность метода раннего нагружения заключается в поэтапном приложении нагрузки на конструкции по мере роста прочности бетона. Величина нагрузки должна соответствовать прочности бетона, достигнутой на момент нагружения. Главным параметром технологии является коэффициент допустимой интенсивности нагружения:

$$\eta = \sigma / R, \quad (1)$$

где σ – напряжения в бетоне от нагрузки; R – прочность бетона в момент нагружения.

Экспериментальными исследованиями [10-12] доказано, что допустимая интенсивность нагружения тем больше, чем больше прочность бетона в момент нагружения. При прочности бетона 20–40 % от R_{28} интенсивность нагружения принимается 0,2–0,5 (а.с. 894146), а при прочности 50–70 % – интенсивность повышается до 0,5–0,7 (а.с. 1442618). При большей интенсивности нагружения в бетоне происходят необратимые деструктивные изменения, связанные с образованием микротрещин по Бергу О.Я. [13]. Нагрузка в пределах допустимой интенсивности благоприятно сказывается на твердении бетона: прирост прочности может достигать 30–35 %, а в отдельных случаях до 70 %. Этот эффект объясняется уплотнением структуры бетона под нагрузкой, вскрытием новых поверхностей кристаллообразования цементного камня, более полной гидратацией зерен вяжущего. Имеет место также механическое модифицирование цементного камня, изменение его поровой структуры и ориентированное расположение кристаллообразований под нагрузкой. Кроме того, влага в бетоне молодого возраста действует как амортизатор, перераспределяя и выравнивая напряжения в материале [6].

Исследованиями Лукьянова В.С. [14] было показано, что термонапряженное состояние бетона начинает формироваться при достижении им 22–30 % прочности, соответствующей времени образования кристаллизационной решетки гидросиликатов кальция. Чем дольше прогревается бетон после достижения указанной прочности, тем больше вероятность отклонения кривой невыгоднейшего распределения температур от кривой нулевых напряжений (распределения температур при указанной прочности) и больше вероятность появления трещин.

Дополнительных исследований требует проверка гипотезы о возможном снижении критической прочности бетона при замораживании под нагрузкой. При совместном воздействии мороза и нагрузки в раннем возрасте бетона разуплотняющее действие образующегося в бетоне льда может быть компенсировано положительным воздействием сжимающей нагрузки на структуру формирующегося бетона [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие исследований технологии раннего нагружения

На кафедре ТСП ЮУрГУ разработана технология раннего нагружения в зимних условиях для фундаментов, стен, колонн и плит перекрытий. Новая технология позволяет распалубить и частично нагружать конструкции фундаментов, колонн и стен при достижении бетоном прочности 20–50 %, перекрытий – 40–70 % от проектной [15–18].

Ускоренное возведение конструкций необходимо вести в строгом соответствии с ППП, в котором разрабатывается новый раздел по расчету параметров раннего нагружения конструкций. Порядок расчета параметров и проектирования технологии раннего нагружения следующий:

- 1) осуществляется разбивка здания на этапы возведения, и определяются возможные максимальные и минимальные темпы нагружения конструкций;
- 2) определяются технологические нагрузки на каждом этапе возведения здания;
- 3) рассчитываются значения требуемой прочности бетона в конструкциях к моменту распалубки и нагружения с учетом допустимой интенсивности;
- 4) выбирается метод зимнего бетонирования и режимы тепловой обработки, обеспечивающие получение требуемой прочности бетона к заданному сроку при минимуме затрат.

При раннем нагружении монолитных фундаментов каркасных зданий этапы нагружения связывают с монтажом колонн, балок, перекрытий и стен на каждом ярусе возведения. Для многоэтажных зданий раннее нагружение фундаментов практически не имеет значения, так как бетон успевает набрать прочность до приложения значительных технологических нагрузок. Наибольший эффект технология имеет при возведении фундаментов одноэтажных про-

изводственных зданий, когда этапы нагружения реализуются довольно быстро.

Ступенчатое возведение столбчатых фундаментов и фундаментных плит осуществляется таким образом, чтобы выполнялось ограничение:

$$0,4R \leq P_{\max} \leq 0,7R, \quad (2)$$

где P_{\max} – максимально возможная фактическая нагрузка на этапе нагружения; R – прочность бетона в момент нагружения.

Прочность фундамента должна быть рассчитана на изгиб, местное действие нагрузки, на продавливание и раскрытие трещин [18]. Прочность бетона не должна быть меньше нормативной прочности при его замерзании.

При возведении одноэтажных производственных зданий обычно выделяют пять этапов нагружения: монтаж колонн, подкрановых балок, конструкций покрытия, установка стеновых панелей, кровельные, отделочные работы и навеска технологического оборудования. С учетом перечисленных пяти этапов возведения определяются максимальные технологические нагрузки, и из условия (2) вычисляется требуемая прочность бетона фундаментов на каждом этапе (рис. 1).

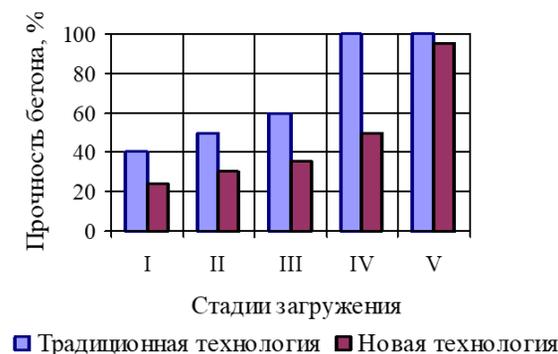


Рис. 1. Требуемая прочность бетона фундаментов на этапах возведения промышленного здания
Figure 1. Required strength of concrete foundations at the stages of construction of an industrial building

Как видим, на I этапе возведения здания по новой технологии прочность бетона фундаментов должна составлять 25 %, на II этапе – 30 %, на III – 38 %, на IV – 50 % и лишь на V этапе – 100 % от R_{28} . Следовательно, можно назначить такой режим термообработки, который обеспечит получение прочности к началу возведения здания не 40–60 %, как обычно требует проект производства работ, а 25–40 % от R_{28} , что существенно снизит затраты за счет сокращения сроков работ.

В качестве этапа возведения монолитных стен и колонн следует рассматривать один этаж, а величину нагрузок принимать в пределах одного этажа. Поскольку вертикальные нагрузки равномерно распределены по высоте монолитных стен и колонн, а эпюра моментов от ветровой нагрузки приближенно линейна, суммарные нагрузки на вертикальные элементы можно принять равномерно распределенными по высоте здания. Требуемая прочность монолитных стен или колонн многоэтажного здания на i -м этаже при раннем нагружении по патенту РФ №1675499.

$$R_i = \alpha \beta_i \frac{n_i}{N} R_{28}, \quad (3)$$

где α – отношение максимальной нагрузки на этапе возведения к эксплуатационной нагрузке; β_i – коэффициент допустимой интенсивности нагружения; n_i – номер i -го этажа при счете сверху, начиная с последнего, возведенного в зимних условиях; N – общее количество этажей; R_{28} – проектная прочность бетона.

Требуемая к моменту нагружения прочность бетона перекрытий из расчета по первой

группе предельных состояний по патенту РФ № 2017906

$$R_b = \frac{0,5(R_s A_s)^2}{(R_s A_s h_0 - \beta M_t) b}, \quad (4)$$

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

Во всех случаях значения требуемой прочности, вычисляемые по формулам (2–4), должны превышать величину критической прочности бетона при замерзании, а также величину минимальной прочности бетона из расчета на местное действие технологических нагрузок.

При раннем нагружении перекрытий учитывают этапы распалубки, установки опалубки на перекрытие, возведения конструкций следующего этажа, устройства стеновых ограждений. Анализ технологического режима нагружения 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.

Экспериментальные исследования

Работа бетона в монолитных стенах и перекрытиях моделировалась центрально и внецентренно сжатыми бетонными призмами и изгибаемыми железобетонными балками. Образцы изготавливались из тяжелого бетона В15 и В20 на ПЦ 500. Размеры бетонных призм высотой 300 и 400 мм, методы их изоляции от высыхания и величина эксцентриситета подбирались из условий теории подобия. Для железобетонных балок размером 8×16×140 см, длительно нагруженных двумя сосредоточенными силами, соблюдались требования подобия материалов, характеристик сечения, коэффициента армирования. Опытные образцы загружались в пружинных установках (рис. 2) и замораживались в камере низких температур КНТ-1М (полезным объемом 16 м³) до температуры минус 15–30 °С.



Рис. 2. Лабораторные установки длительного нагружения бетона
Figure 2. Laboratory installations for long-term loading of concrete

Лабораторные образцы-призмы, нагруженные уровнем нагрузки 0,3–0,75 от разрушающей при прочности бетона $(0,2–0,8)R_{28}$, показали прирост прочности на 90 сутки по сравнению с ненагруженными образцами нормального твердения в среднем на 33 и 20 % и модуля упругости – на 19 и 15 % соответственно для случая внецентренного и осевого сжатия (рис.

3). В некоторых случаях упрочнение достигало 33–43 %. Указанный эффект подтверждается результатами ультразвуковых исследований, показавшими увеличение плотности цементного камня.

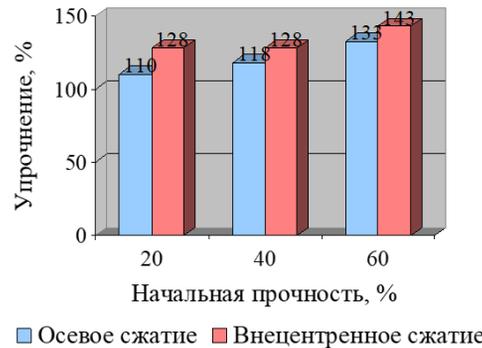


Рис. 3. Упрочнение бетона при раннем нагружении с интенсивностью 0,3–0,5 и температуре выдерживания минус 15 °С

Figure 3. Strengthening of concrete under early loading with an intensity of 0.3–0.5 and holding temperature minus 15 °C

Для подтверждения возможности раннего нагружения плит перекрытий были проведены комплексные исследования лабораторных образцов-балок и реальных монолитных перекрытий при замораживании и оттаивании под нагрузкой [10, 15].

Монолитные перекрытия моделировались изгибаемыми железобетонными балками с параметрами нагружения $R_0 = (0,35–0,65) R_{28}$ и $\eta = 0,3–0,7$. Установлено существенное влияние раннего нагружения на несущую способность балок: прирост по сравнению с ненагруженными балками на 25–27 %. Ширина раскрытия трещин после начального замораживания и последующего оттаивания уменьшается на 15–60 %, величина прогибов – на 16...24 % по сравнению с нормальными условиями. Таким образом, при раннем нагружении жесткость и трещиностойкость балок увеличивается.

При реализации планов экспериментов, в котором в качестве факторов варьировались прочность при нагружении R_0 и интенсивность нагрузки η , а откликом служила величина упрочнения, получены регрессионные уравнения:

- для сжатых образцов-призм

$$\Delta R = 120,70 + 13,83R_0 - 2,22\eta - 0,72R_0^2 - 0,22\eta^2, \quad (5)$$

- для изгибаемых образцов-балок

$$\Delta M = 101,56 + 3,17R_0 - 4,50\eta - 1,87R_0^2 + 0,83\eta^2. \quad (6)$$

На основании анализа пространства значений отклика были определены коэффициенты допустимой интенсивности нагружения β , используемые в формулах (1) и (2).

При опытно-производственной проверке технологии проводились испытания натуральных конструкций плит перекрытий и лоджий пролетом 2,85 и 4,1 м, нагруженных при прочности бетона 40–50 % проектной. Величина нагрузки на третьем этапе по создаваемым в плитах моментам была эквивалентна максимальной технологической, возникающей при установке опалубки и бетонировании вышележащего этажа. С помощью высокоточного нивелира Н-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.

Испытания показали (табл. 1), что при раннем нагружении требования второй группы предельных состояний удовлетворяются с запасом 20...60 % (прогибы до 1/374 пролета, ширина трещин до 0,25 мм).

Таблица 1

Результаты испытаний плит перекрытий (ПП) и плит лоджий (ПЛ) при раннем нагружении

Table 1

Test results of floor slabs (FS) and loggia slabs (LS) under early loading

Марка элемента Element mark	Нагрузка, $\text{H}/\text{мм}^2 \cdot 10^{-3}$ Load, $\text{N}/\text{мм}^2 \cdot 10^{-3}$	Прогиб, мм Deflection, mm		Ширина трещин, мм Crack width, mm	
		f	f_l	$a_{cr,c}$	$a_{cr,l}$
ПП-1, ПП-2	4,00	3,8	8,4	0,15	0,25
	5,40	6,2	—	0,20	—
	6,10	7,4	—	0,25	—
ПЛ-1, ПЛ-2	4,00	4,2	9,8	0,05	0,20
	5,40	6,3	—	0,13	—
	6,10	7,9	—	0,18	—

Кратковременные и длительные значения прогибов и ширины раскрытия трещин не превысили допустимых значений ($f \leq 20$ мм, $a_{cr,c} \leq 0,40$ мм, $a_{cr,l} \leq 0,30$ мм). Следовательно, прочность бетона плит перекрытий при их раннем нагружении с учетом оттаивания удовлетворяла требованиям предельных состояний.

Внедрение технологии раннего нагружения

Новая технология была внедрена при строительстве 16-этажных сборно-монолитных жилых домов в г. Челябинске. Монолитные стены и перекрытия здания возводились в едином цикле в объемно-переставной опалубке, извлекаемой «на фасад». В соответствии с календарным графиком работ в зимнее время возводились первые 8 этажей здания. Согласно ППР, требуемая прочность бетона монолитных стен составляла 50–100 % в зависимости от этажа, а монолитных перекрытий – 70–100 % от R_{28} .

В условиях раннего нагружения прочность бетона стен назначалась по формуле (3) и изменялась в пределах 25–65 %, а при использовании противоморозной добавки – 20–25 % от R_{28} . Требуемая прочность бетона перекрытий определялась по формуле (4): для перекрытий пролетом 3,0 и 4,1 м прочность бетона принималась соответственно 55 и 65 % от R_{28} , вместо 70 % по нормам. Найденные значения удовлетворяли условиям жесткости и сопротивления местному действию нагрузки от опор опалубки.

Сократить сроки выдерживания позволяет технология ранней распалубки перекрытий с переопиранием их на инвентарные стойки [16]. При этом бетон выдерживают до определенной прочности (меньше нормативного значения при распалубке), поэтапно снимают щиты опалубки с немедленным переопиранием распалубленных участков на нижележащие перекрытия (2 или 3 яруса переопирания). Расчетами пространственной системы 24-этажного здания и натурным экспериментом доказано, что при переопирании на два яруса достаточно 60 % прочности бетона для обеспечения жесткости и трещиностойкости конструкций. При этом оптимальное соотношение между монтажной и эксплуатационной нагрузками (изгибающими моментами) равно 0,24–0,36.

Способ поярусного переопирания перекрытий может быть совмещен с энергосберегающей технологией поярусной термообработки бетона. Согласно запатентованной технологии [17] на 1-ом верхнем ярусе осуществляется активная термообработка ($t = 40\text{--}50$ °С, $R > R_{кр}$), на 2-ом ярусе бетон выдерживается с более мягким режимом обогрева ($t = 20\text{--}30$ °С, $R = 60\text{--}$

70 %), на 3-ем нижнем ярусе организуется зона регулируемого остывания ($t = 0–20$ °С, $R = 70–80$ %). Ниже расположена зона нерегулируемого остывания и далее – зона готовых конструкций.

Описанная технология позволяет реализовать ярусное переопирание перекрытий с достижением оптимальной прочности бетона на каждом ярусе и с учетом эффекта раннего нагружения. При этом обеспечиваются нормируемые значения скорости остывания, разности температур наружного воздуха и бетона, ограничиваются градиенты температур по сечению конструкций, способные привести к повреждению их трещинами.

При раннем нагружении особую актуальность приобретает расчет здания в стадии возведения, требуемый техническим регламентом по безопасности зданий и сооружений и строительными нормами. Снижение распалубочной прочности монолитных конструкций приводит к перераспределению усилий во всех элементах несущей системы монолитного здания и увеличению общих деформаций. Поэтому при расчете конструкций в стадии возведения должны учитываться многие параметры раннего нагружения: прочность, модуль упругости и мера ползучести бетона с учетом замораживания и оттаивания, интенсивность нагружения, а также податливость швов бетонирования и монолитных переемычек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе экспериментальных исследований свойств бетона раннего возраста под нагрузкой разработаны варианты технологии раннего нагружения различных монолитных конструкций. Описанные технологии прошли производственную апробацию на реальных объектах. Экономический эффект внедрения достигается за счет уменьшения значений прочности бетона к моменту загрузки конструкций, снижения температур и продолжительности термообработки бетона, повышения темпов оборачиваемости опалубки, сокращения накладных расходов. Подтверждено снижение себестоимости зимнего бетонирования на 425–850 руб/м³ (в ценах 2010 года) и сокращение сроков строительства на 13–26 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев А.А. Интенсификация работ при возведении зданий и сооружений из монолитного железобетона. М.: Стройиздат, 1990. – 384 с.
2. Красный Ю.М., Красный Д.Ю. Монолитное домостроение. – М.: Изд-во АСВ; Екатеринбург: УГТУ, 2000. – 550 с.
3. СП 70.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 Несущие и ограждающие конструкции.
4. Красновский Б.М. Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования. – М.: Изд-во ГАСИС, 2004. – 470 с.
5. Саталкин А.В., Сенченко Б.А. Раннее нагружение бетона и железобетона в мостостроении. – М.: Автотрансиздат, 1954. – 214 с.
6. Штаерман Ю.Я. Сверххранное распалубливание плоских железобетонных конструкций. – Тбилиси: ГрузНИТО строителей, 1940. – 49 с.
7. Указания по ускоренной распалубке железобетонных конструкций. – М.: Стройиздат, 1942. – 7 с.
8. Roll F. Long-time creep recovery of highly stressed concrete cylinders // Symposium of creep. – 1964. – Vol. 7. – P. 267.
9. Obayes O., Gad E., Pokharel T., Lee J. et al. Evaluation of Concrete Material Properties at Early Age // Civil Engineering. – 2020. – Vol. 1. – Pp. 326–350.
10. Современные строительные технологии: монография / под ред. С.Г. Головнева. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. – 268 с.
11. Бурчу В.И. Новая методика исследования свойств бетона, нагруженного в раннем возрасте // Бетон и железобетон. – 1997. – №6. – С. 11–14.
12. Бобров В.В. Методы оценки влияния различных факторов на процесс микроразрушений бетона под нагрузкой: Дисс. ... канд. техн. наук. – М., 2015. – 128 с.
13. Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писано Г.Н. Высокопрочный бетон. – М.: Стройиздат, 1971. – 208 с.

14. Лукьянов В.С., Соловьянчик А.Р. Физические основы прогнозирования собственного термонапряженного состояния бетонных и железобетонных конструкций // Исследования и методы расчета при твердении бетона в изделиях, конструкциях и сооружениях. – М.: ЦНИИС, 1972. – С. 102–109.
15. Байбурин А.Х. Раннее нагружение монолитных конструкций многоэтажных гражданских зданий в зимних условиях: Дис. ... канд. техн. наук. – Челябинск, 1992. – 211 с.
16. Никоноров С.В., Тарасова О.А. Технология раннего нагружения монолитных перекрытий при использовании балочно-стоечной опалубки // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – №4. – С. 17–20.
17. Патент РФ № 2364690, МПК E04 B 2/84. Способ возведения монолитных зданий в зимних время / С.Г. Головнев, А.Х. Байбурин, Л.А. Беркович. – Бюл. № 23, 2009.
18. Коваль С.Б., Юнусов Н.В. Регламент. Раннее нагружение строительных конструкций. – Челябинск: ЮУрГУ, 1999. – 17 с.

REFERENCES

1. Afanasiev A.A. Intensification of work in the construction of buildings and structures from monolithic reinforced concrete. Moscow: Stroyizdat, 1990. - 384 p.
2. Krasny Yu.M., Krasny D.Yu. Monolithic building. - Moscow: Publishing house ASV; Ekaterinburg: USTU, 2000. - 550 p.
3. SP 70.13330.2012. Updated edition of SNiP 3.03.01-87 Bearing and enclosing structures.
4. Krasnovsky B.M. Engineering and physical foundations of winter concreting methods. - Moscow: GASIS Publishing House, 2004. - 470 p.
5. Satalkin A.V., Senchenko B.A. Early loading of concrete and reinforced concrete in bridge building. - Moscow: Avtotransizdat, 1954. - 214 p.
6. Shtaerman Yu.Ya. Ultra-early stripping of flat reinforced concrete structures. Tbilisi: Cargo-NITO builders, 1940. - 49 p.
7. Instructions for the accelerated stripping of reinforced concrete structures. – Moscow: Stroyizdat, 1942. – 7 p.
8. Roll F. Long-time creep recovery of highly stressed concrete cylinders. Symposium of creep. - 1964. - Vol. 7. - P. 267.
9. Obayes O., Gad E., Pokharel T., Lee J. et al. Evaluation of Concrete Material Properties at Early Age. *Civil Engineering*. - 2020. - Vol. 1.-Pp. 326–350.
10. Modern building technologies: monograph / ed. S.G. Golovnev. - Chelyabinsk: Ed. center of SUSU, 2010. - 268 p.
11. Burchu V.I. A new methodology for studying the properties of concrete loaded at an early age. *Concrete and reinforced concrete*. 1997. No. 6. P. 11–14.
12. Bobrov V.V. Methods for assessing the influence of various factors on the process of microdestruction of concrete under load: Diss. ... cand. tech. Sciences. - Moscow, 2015. - 128 p.
13. Berg O.Ya., Shcherbakov E.N., Pisano G.N. High strength concrete. – Moscow: Stroyizdat, 1971. – 208 p.
14. Lukyanov V.S., Solovyanchik A.R. Physical bases for predicting the own thermal stress state of concrete and reinforced concrete structures. Research and methods of calculation during hardening of concrete in products, structures and structures. – Moscow: TsNIIS, 1972. – Pp. 102–109.
15. Baiburin A.Kh. Early loading of monolithic structures of multi-storey civil buildings in winter conditions: Dis. ... cand. tech. Sciences. - Chelyabinsk, 1992. - 211 p.
16. Nikonorov S.V., Tarasova O.A. Technology of early loading of monolithic ceilings when using beam-column formwork. *Magazine of Civil Engineering*. - 2010. - No. 4. – Pp. 17–20.
17. RF patent No. 2364690, IPC E04 B 2/84. A method of erecting monolithic buildings in winter time / S.G. Golovnev, A.Kh. Baiburin, L.A. Berkovich. - Bull. No. 23, 2009.
18. Koval S.B., Yunusov N.V. Regulations. Early loading of building structures. Chelyabinsk: YuUrGU, 1999. 17 p.