УДК 69.04 DOI: 10.33979/2073-7416-2024-111-1-49-63

В.И. ТРАВУШ[1], П.Д. АРЛЕНИНОВ[2,3], М.А. ДЕСЯТКИН[4], А.Н. ИВАЩЕНКО[4], П.С. КАЛМАКОВА[2,3], С.С. КАПРИЕЛОВ[2], Д.В. КОНИН[5], А.С. КРЫЛОВ[5], С.Б. КРЫЛОВ[2], И.А. ЧИЛИН[2], А.В. ШЕЙНФЕЛЬД[2]

[1]ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия

[2]Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия

[3]ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия

[4]ООО «Инфорспроект», г. Москва, Россия

[5]Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЗУЧЕСТИ СТАЛЕЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

Аннотация. *В статье приводятся результаты исследования ползучести и усадки сталежелезобетонных образцов. Для этого были проведены параллельные испытания образцов, выполненных из одного класса бетона, но с разным армированием. Исследовались бетонные образцы, образцы, армированные каркасами из стержневой арматуры и сталежелезобетонные образцы с внешним листовым армированием. Испытания проводились в климатических помещениях с использованием пружинных установок для поддержания неизменной нагрузки, действующей на образцы в течении длительного времени. Нагрузка на образы подбиралась из расчета равенства напряжений в бетоне во всех сериях образцов. Образцы испытывались как гидроизолированные, так и не гидроизолированные, оценивалось влияние гидроизоляционного покрытия на деформации усадки и ползучести для разных серий образцов. Для снятия информации была разработана система, позволяющая помимо продольных деформаций усадки и ползучести определить поперечные деформации, продольные деформации по граням образца для определения влияния арматуры и стали внешнего листа, оценить изменение продольных деформация от центра образца к его краям, отдельно оценить деформации бетона и стального листа в сталежелезобетонных образцах.*

Анализ результатов позволил сравнительную оценку влияния обычной стержневой арматуры, а также стального листа сталежелезобетонных образцов на деформации ползучести и усадки, также была произведена оценка влияния гидроизоляционного покрытия на результаты испытаний в разных сериях. По результатам проведенной работы сформулированы расширенные требования к экспериментально-теоретическим исследованиям сталежелезобетонных образцов с внешним листовым армированием по определению их расчетных жесткостей.

Ключевые слова: *бетон, железобетон, сталежелезобетон, ползучесть, усадка.*

V.I. TRAVUSH[1], P.D. ARLENINOV[2,3], M.A. DESYATKIN[4], A.N. IVASCHENKO[4], P.S. KALMAKOVA[2,3], S.S. KAPRIELOV[2], D.V. KONIN[5], A.S. KRYLOV[5], S.B. KRYLOV[2], I.A. CHILIN[2], A.V. SHEINFELD[2]

[1]GORPROJECT, Moscow, Russia

[2]JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia

[3]National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

[4]Inforsproekt, Moscow, Russia

[5] JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russia

CREEP BEHAVIOUR OF STEEL-REINFORCED CONCRETE SPECIMENS

© Травуш В.И., Арленинов П.Д., Десяткин М.А., Иващенко А.Н., Калмакова П.С., Каприелов С.С., Конин Д.В., Крылов А.С., Крылов С.Б., Чилин И.А., Шейнфельд А.В., 2024

Abstract. *The paper presents the results of investigation of creep and shrinkage of steel-reinforced concrete specimens. For this purpose, parallel tests of specimens made of the same class of concrete but with different reinforcement were carried out. Concrete specimens, specimens reinforced with bar reinforcement frames and steel reinforced concrete specimens with external sheet reinforcement were investigated. The tests were carried out in climatic rooms using spring setups to maintain a constant load acting on the specimens over time. The load on the specimens was selected based on the equality of stresses in the concrete in all series of specimens. The specimens were tested both waterproofed and non-waterproofed, and the effect of waterproofing coating on shrinkage and creep strains was evaluated for different series of specimens. A system was developed to capture information. which allows, in addition to longitudinal shrinkage and creep deformations, to determine transverse deformations, longitudinal deformations along the faces of the specimen to determine the influence of reinforcement and steel of the outer plate, to evaluate the change in longitudinal deformations from the center of the specimen to its edges, to evaluate separately the deformations of concrete and steel plate in steel-reinforced concrete specimens.*

The analysis of the results allowed a comparative assessment of the influence of conventional bar reinforcement as well as steel sheet of steel-reinforced concrete specimens on creep and shrinkage deformations; the influence of waterproofing coating on the test results in different series was also assessed. Based on the results of this work, extended requirements for experimental and theoretical studies of steel-reinforced concrete specimens with external sheet reinforcement to determine their design stiffnesses were formulated.

Keywords: *concrete, reinforced concrete, steel-reinforced concrete, creep, shrinkage*

Введение

В настоящее время происходит быстрое развитие композитной сталежелезобетонной конструкции в виде бетонных стен с внешним листовым армированием [2-3]. В данной статье речь пойдет про длительные испытания сталежелезобетонных образцов, моделирующих сталежелезобетонную конструкцию с внешним листовым армированием, которое может дополнять обычную стержневую арматуру или может ее заменять. Совместная работа с бетоном и анкеровка (крепление) внешнего листового армирования осуществляется с помощью стад-болтов с равным шагом, расположенных по внутренней поверхности стального листа. Такие элементы конструкций применяются в России в атомной отрасли и в качестве основных несущих элементов высотных зданий за рубежом [6-22]. В некоторых видах конструкций в России листовая арматура используется просто как несъемная опалубка и не учитывается, как элемент армирования ввиду отсутствия обширных исследований на эту тему.

В действующих российских нормативных документах СП 63.133330 и СП 266.1325800 [4-5] указаний по расчету и проектированию таких конструкций не приведено. Исследования работы сталежелезобетонных конструкций с листовым армированием при действии кратковременных конструкций будут опубликованы отдельно, а в рамках данной статьи рассмотрим их работу при длительно действующих нагрузках. Основной изучаемой характеристикой при этом будет ползучесть. Этот фактор является одним из важнейших при учете деформаций для высотных зданий во времени, так, например для самого высокого в настоящий момент здания мира Бурдж-Халифа (рисунок 1), каркас которого выполнен в монолитном железобетоне, расчетные деформации ползучести через 30 лет после начала строительства составят 60% от общей вертикальной деформации [1].

При учете этапности возведения картина сильно меняется, но в абсолютных значениях цифры вертикальных деформаций могут быть достаточно большими и неучет их с большой вероятностью приведет к непрогнозируемым последствиям. Чтобы выполнить такие расчеты необходимо в первую очередь знать основные характеристики ползучести сталежелезобетонных элементов, экспериментальному определения которых и посвящена данная статья.

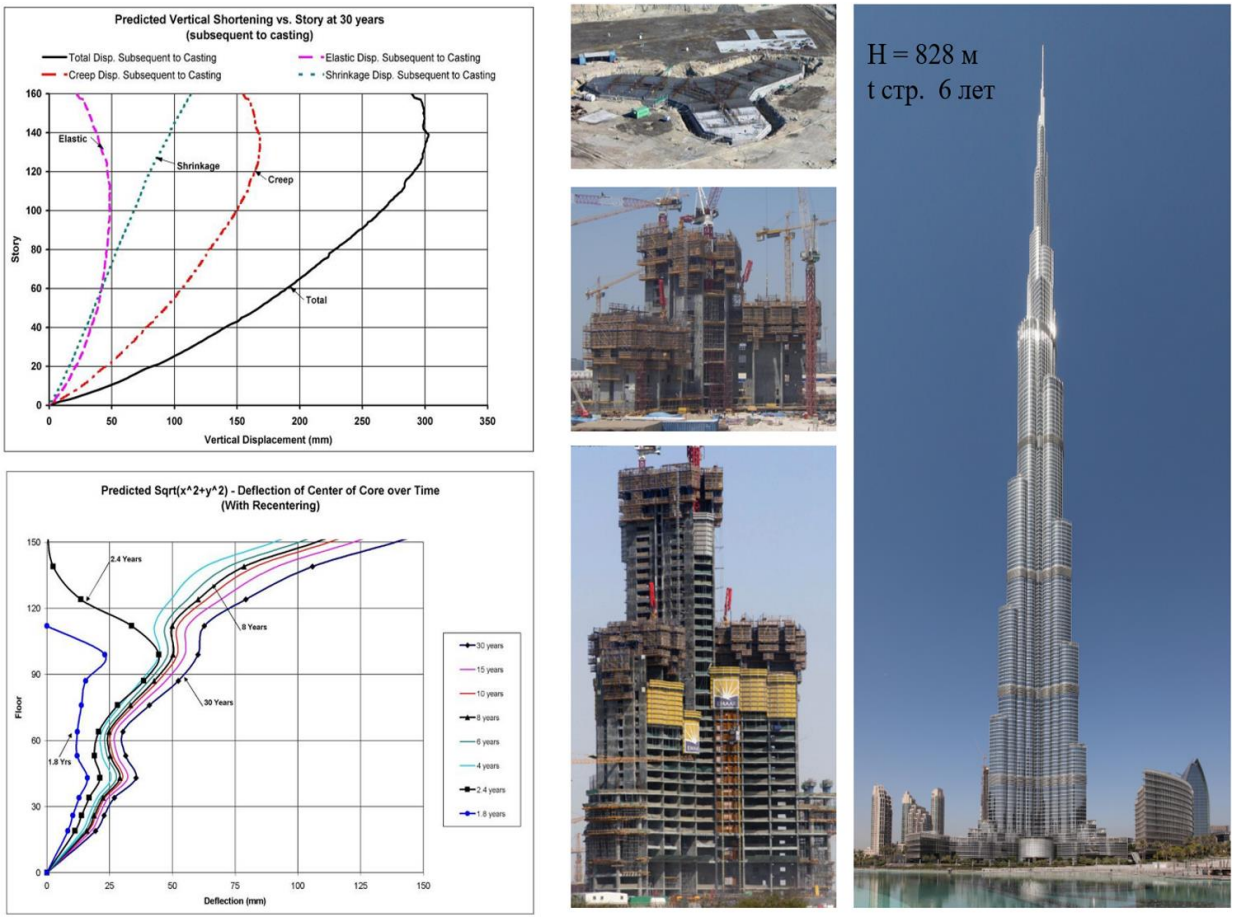

Рисунок 1 - Расчетный прогноз на 30 лет продольных и поперечных деформаций небоскреба Бурдж-Халифа [1]

Модели и методы

Для понимания, как деформируется под длительно действующей нагрузкой сталежелезобетонный элемент конструкции с внешним листовым армированием необходимо для начала оценить влияние стального листа на общие деформации элемента и чем деформативность такой конструкции будет отличаться от стандартной железобетонной, армированной стержневой арматурой. Для решения поставленной задачи был подготовлен комплексный эксперимент, в рамках которого испытываются образцы одинакового размера, изготовленные одновременно из бетона одного состава, но отличающиеся армированием. Типоразмер образцов был выбран 150х150х600 мм для возможности разместить арматуру, бетон класса В100 на базальтовом заполнителе с повышенным значением модуля деформации (50 ГПа). Класс бетона принят высоким, поскольку область применения таких конструкций – это специальное строительство, в рамках которого возводятся сложные и уникальные здания и применяются материалы с наилучшими характеристиками. Было подготовлено три серии образцов: бетонные образцы без арматуры; образцы с классическим армированием, в виде сварных каркасов из четырех стержней и хомутов поперечного армирования; образцы, моделирующие сталежелезобетонный элемент конструкции с внешним листовым армированием в виде двух стальных пластин, анкеруемых в бетон посредством болтов с гайкой на свободном конце, имитирующих стад-болты. Крепление болта к листу осуществляется в заранее просверленные отверстия двумя гайками с шайбами с двух сторон листа. Процент армирования для железобетонного образца со стержневым армированием составляет 0,88%, с листовым 4%. Схемы армирования образцов различных серий приведены на рисунке 2, процесс подготовки к заливке показан на рисунке 3.

Основная группа образцов гидроизолировалась от воздуха и влагообмена с окружающей средой для моделирования состояния реальной конструкции. Перед подготовкой образцов под испытания были проведены дополнительные исследования различных типов гидроизоляционного покрытия. При проведении эксперимента в итоге была выбрана комбинированная гидроизоляция, состоящая из трех слоев битума и липкой ленты в качестве верхнего слоя (рисунок 6). Всего в каждой серии было залито 12 образцов – 3 из них гидроизолировались и испытывались до разрушения с предварительным определением начального модуля упругости и коэффициента Пуассона в проектном возрасте, 3 гидроизолировались и устанавливались в пружинные установки на длительную нагрузку для испытаний на ползучесть, 3 образца гидроизолировались и использовались для определения деформаций усадки, 3 дополнительных контрольных образца не гироизолировались, и использовались для определения усадочных деформаций до момента загружения основной группы образцов, затем два из них устанавливались в пружинные установки для испытания на ползучесть, один использовался для фиксации усадочных деформаций для последующего вычленения из общих деформаций ползучести.

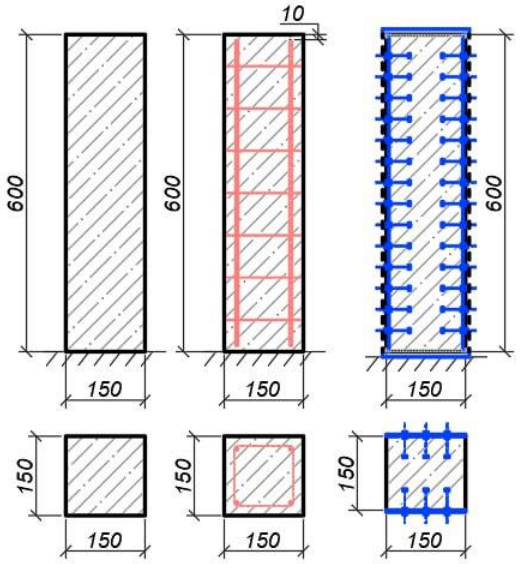

Рисунок 2 - Схемы армирования различных серий образцов

В соответствии с ГОСТ 24544 при испытаниях по определению ползучести бетона образцы должны испытываться в установках, в которых возможно поддержание постоянной нагрузки в течении длительного времени и равной 30% от разрушающей. Величина в 30% обусловлена с одной стороны необходимостью проводить испытания в зоне линейной деформации бетона (примерно при нагрузках до 50% от разрушающей), с другой стороны нагрузка должна быть достаточно большой для исключения влияния процессов обжатия, выхода кривой деформирования образца в линейную область. Предварительные экспериментальные исследования на бетонах применяемого состава показали, что выход в линейную область обеспечивается уже после 9% от разрушающей нагрузки, поэтому оптимальной нагрузкой при которой можно определить все особенности поведения бетона при испытаниях на ползучесть является диапазон 15-20% от разрушающей нагрузки, поскольку нагрузки большой величины учитывая размеры образцов 150х150 мм, высокий класс бетона и наличие стали, приложить на длительное время крайне затруднительно.

Одной из задач, которую необходимо было решить перед проведением эксперимента это определение длительной нагрузки, под которой будут испытываться образцы. Предварительно было рассмотрено несколько вариантов выбора такой нагрузки:

А. Одинаковая нагрузка на образцах всех серий поскольку они имеют одинаковый размер поперечного сечения, для определения наиболее выигрышного варианта в части минимизации деформаций ползучести и определения величины «выигрыша».

Б. Различная нагрузка для каждой серии образцов, равная средней разрушающей нагрузки (отличается для каждой серии) умноженный на одинаковый коэффициент (в пределах 0,15-0,20 как было описано выше).

В. Различная нагрузка для каждой серии образцов, рассчитанная таким образов – бетонный образец принимается за базовый с условной нагрузкой 0,15 от разрушающей, для остальных образцов вычисляется повышающий коэффициент из соотношения прочностей металла и бетона. Предполагается, что перед разрушением стальной лист внешней облицовки и арматура воспримут часть нагрузки, пропорционально своей прочности и площади сечения, соответственно при проведении длительных испытаний по определению ползучести принимается доля этой нагрузки. Этот вариант принципиально отличается от варианта Б тем, что экспериментально определяется только разрушающая нагрузка бетонной призмы, а разрушающие нагрузки сталежелезобетонной и армированной – вычисляются, такой способ минимизирует масштабный фактор при переходе от конструкции к образцу в части подбора параметров стального листа и арматуры.

Г. Различная нагрузка для каждой серии образцов, подобранная из равенства напряжений в бетоне во время проведения испытаний, при этом распределение общей нагрузки на образец между бетоном и сталью (для сталежелезобетонного и армированного образца соответственно) принимается по соотношению жесткостей бетона и стали соответственно.

Каждый из перечисленных вариантов можно использовать для решения тех или иных научных и инженерных задач, в нашем случае использовался вариант Г. Ниже приведен алгоритм расчета сжимающей нагрузки для бетонных и сталежелезобетонных образцов с внешним листовым армированием.

По результатам испытаний серии бетонных и сталежелезобетонных образцов до разрушения были получены следующие значения разрушающей нагрузки:

$F_{СЖБ-1}$ = 236 т (сталежелезобетонный образец №1), $F_{Б-1}$ = 215 т (образец бетона №1),
$F_{СЖБ-2}$ = 260 т (сталежелезобетонный образец №1), $F_{Б-2}$ = 229 т (образец бетона №2),
$F_{СЖБ-3}$ = 240 т (сталежелезобетонный образец №1), $F_{Б-3}$ = 240 т (образец бетона №3)

$$F_{СЖБ\ ср} = \frac{F_{СЖБ-1}+F_{СЖБ-2}+F_{СЖБ-3}}{3} = 245{,}3\ т \quad или \quad 2405{,}9\ кН \qquad (1)$$

В предположении, что при сжатии сталежелезобетонного элемента сжимающее усилие распределится между сталью и бетоном пропорционально их жесткостям (в реальности распределение будет несколько другим, но близким по соотношению, поэтому также учитывая невысокий уровень напряжений в образце, этим можно пренебречь), решая систему уравнений относительно усилия в стальном листе определим также усилие в бетоне:

$$\begin{cases} \frac{E_S \cdot A_S}{E_b \cdot A_b} = \frac{N_S}{N_b} \\ N_S + N_b = F \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} N_S = \frac{F}{1+\left(\frac{E_b \cdot A_b}{E_S \cdot A_S}\right)} \\ N_b = F - N_S \end{cases} \qquad (2)$$

Зная значения модуля упругости материалов и размеры их сечений, определим N_S и N_b

$$N_S = 352{,}5\ кН \qquad N_b = 2053{,}4\ кН \qquad (3)$$

Введем коэффициент распределения усилий между бетоном и арматурой

$$К_р = \frac{N_b}{N_S} = 5{,}825 \qquad (4)$$

Подбираем коэффициент перехода $К_{СЖБ}$ от разрушающей нагрузки к длительной нагрузке при проведении испытаний из граничного значения 45 тонн для сталежелезобетонного образца (возможности пружинной установки) и целому числу в барах в соответствии с предварительной тарировкой домкрата.

$$F_{СЖБ\ дл} = К_{СЖБ} \cdot F_{СЖБ\ ср} = 0{,}172 \cdot F_{СЖБ\ ср} = 42{,}2\ т \quad или \quad 413{,}8\ кН \qquad (5)$$

$$N_{b\ дл} = \frac{F_{СЖБ\ дл}}{1+\frac{1}{K_р}} = 353{,}2\ кН \quad \sigma_b^{СЖБ}{}_{дл} = \frac{N_{b\ дл}}{15 \cdot 14{,}4} = 1{,}64\ кН/см^2 \qquad (6)$$

$$F_{Б\ ср} = \frac{F_{Б-1}+F_{Б-2}+F_{Б-3}}{3} = 228\ т \quad или \quad 2235{,}9\ кН \qquad (7)$$

$$\sigma_b^{Б} = \frac{F_{Б\ ср}}{15^2} = 9{,}9\ кН/см^2 \qquad (8)$$

Из равенства напряжений в бетонном и сталежелезобетонном образце определим коэффициент перехода от разрушающей нагрузки к длительной для бетонного образца и длительную нагрузку на образец

$$K_Б = \frac{\sigma_b^{СЖБ}{}_{дл}}{\sigma_b^{Б}} = 0{,}164 \quad K_Б \cdot F_{Б\ ср} = 37{,}5\ т \qquad (9)$$

Съем информации с образцов производился с использованием электронного деформометра, работающего по принципу «DEMEC Mechanical Strain Gauge» с определением расстояния между метками, закрепленными на образце, с точностью измерения до 0,001 мм (рисунок 7). Стандартные измерения приращения деформаций при проведении испытаний на ползучесть и усадку бетона осуществляются по каждой грани образца вдоль длинной стороны на зафиксированной базе измерения – для образцов размерами 150х150х600 мм в соответствии с ГОСТ 245444 и ГОСТ 24452 база измерения должны быть не менее 100 мм и не более 400 мм.

В рамках проведения данного исследования были размещены дополнительные контрольные метки для снятия показаний, позволяющие помимо определения вертикальных деформаций в соответствии с требованиями указанных стандартов на фиксированной базе определить:

- максимальные поперечные деформации для определения длительного коэффициента поперечной деформации – Пуассона),
- продольные деформации по граням образца для определения влияния арматуры и стали внешнего листа,
- дополнительные метки с разной базой в средней части образца для оценки величины осреднения продольных деформация от центра образца краям,
- метки, установленные на стальной лист для определения деформаций стального листа и определение разницы в деформациях металла и бетона (если такая есть) в сталежелезобетонных образцах.

Схема расстановки меток, а также фотографии снаряженного образца приведены на рисунках 4-5. Метки приклеивались до устройства гидроизоляционного покрытия.

Рисунок 3 - Процесс заливки форм образцов-призм для испытаний по определению деформаций усадки и ползучести

Рисунок 4 - Процесс наклеивания меток для определения деформаций усадки и ползучести

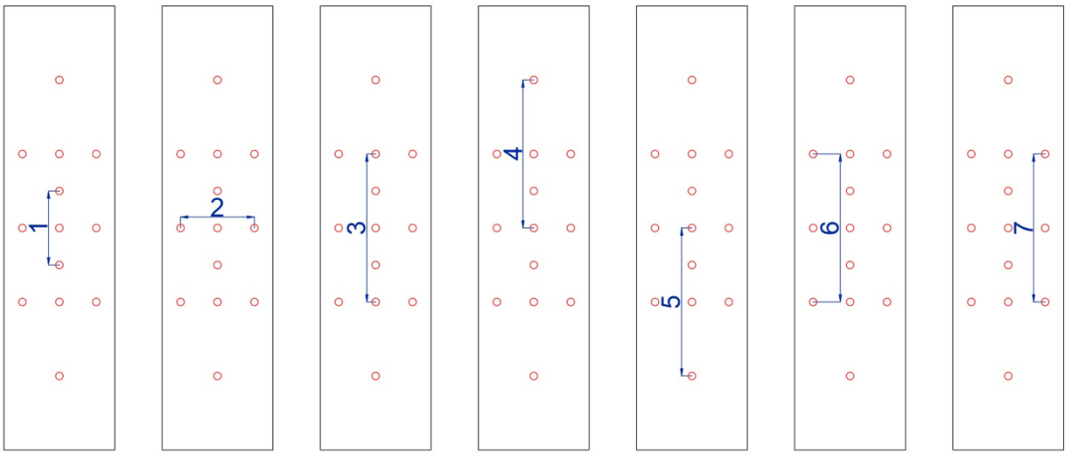

Рисунок 5 - Схема расположения меток га образцах-призмах

Рисунок 6 - Процесс подготовки образцов для проведения испытаний по определению деформаций усадки и ползучести в части нанесения гидроизоляционного покрытия и удаления монтажных ребер

Рисунок 7 - Электронный тензометрический датчик MSM31-200 мм Процесс снятия показаний с образцов-призм при проведении испытаний по определению деформаций усадки и ползучести

Результаты исследования и анализ

В настоящий момент испытания продолжаются (в пружинных установках образцы под нагрузкой находятся 60 суток, испытания по определению усадки продолжаются уже 115 суток), планируемый общий срок проведения испытаний от 6 месяцев (требования ГОСТ 244544) до года, в зависимости от затухания кривой деформирования. На рисунке 8 приведены сводные графики усадки по образцам различных серий. Анализируя графики видно, что в целом деформации бетонных образцов и образцов, армированных каркасами достаточно близки, но все же за счет сдерживающего фактора, которым является арматурный каркас общие деформации армированных образцов меньше. Стальной лист в сталежелезобетонных образцах оказывает большее влияния на усадочные деформации, уменьшая их. Анализируя влияние гидроизоляции, можно сделать вывод, что деформации усадки для гидроизолированных и не гидроизолированных образцов различных серий отличаются. Для бетонных образцов-призм разница в деформации усадки составила 16%, для армированных образцов – 20%, для сталежелезобетонных – 1%, что является крайне интересным результатом, поскольку получается стеснение от стального листа практически перекрывает влияние гидроизоляционного покрытия свободных от листа граней. Также можно отметить, что графики усадки имеют затухающий характер, что свидетельствует о том, что в ближайшем будущем графики гидроизолированных и не гидроизолированных образцов не сойдутся в единую прямую (в ряде исследований было зафиксировано нивелирование влияние гидроизоляции на большом сроках испытания).

При анализе графиков первых результатов по деформациям ползучести видно (сводные графики деформаций приведены на рисунке 9, 10), что арматурные каркасы еще меньше оказывают влияние на общее деформирование образца в сравнении с цельно бетонными образцами, кривые деформирования практически совпадают, что касается деформирования сталежелезобетонных образцов то в среднем их деформации на 33% ниже, что свидетельствует о значительном сдерживающем факторе стального листа.

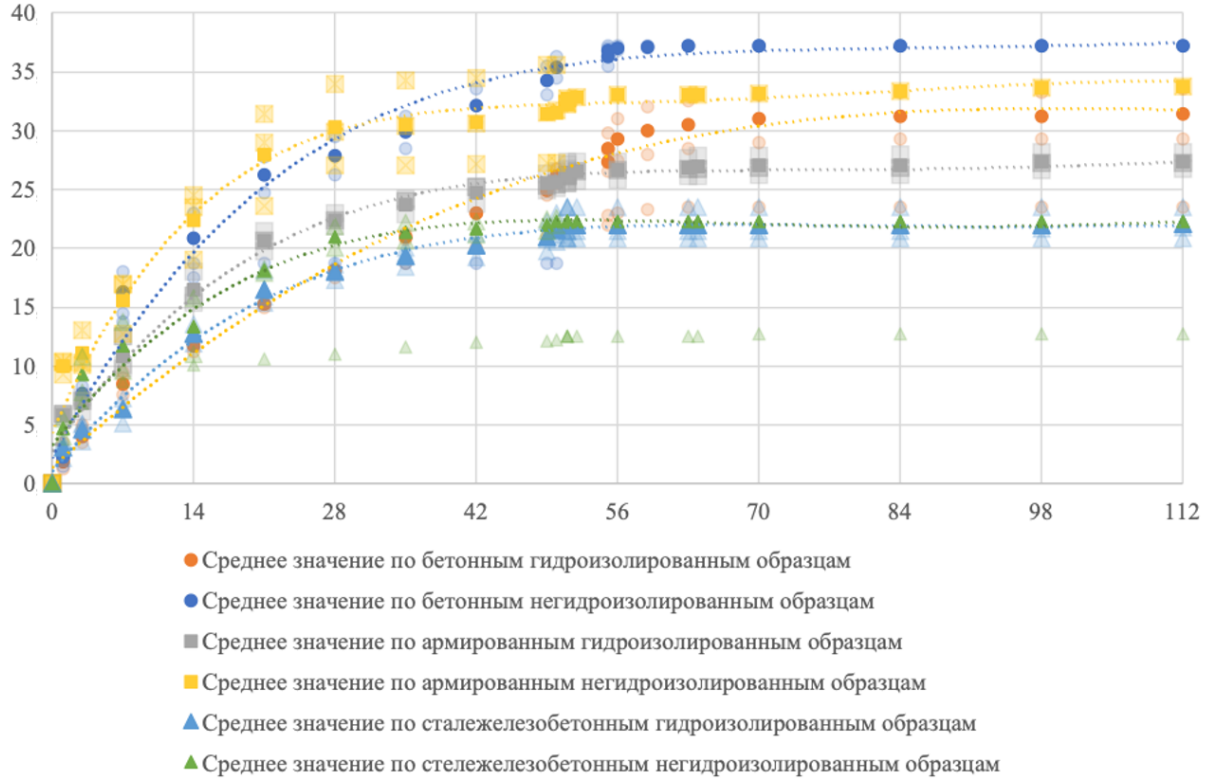

Рисунок 8 – Графики зависимости относительной деформаций усадки (*10^{-5}) от времени (сут) для образцов с различным типом армирования

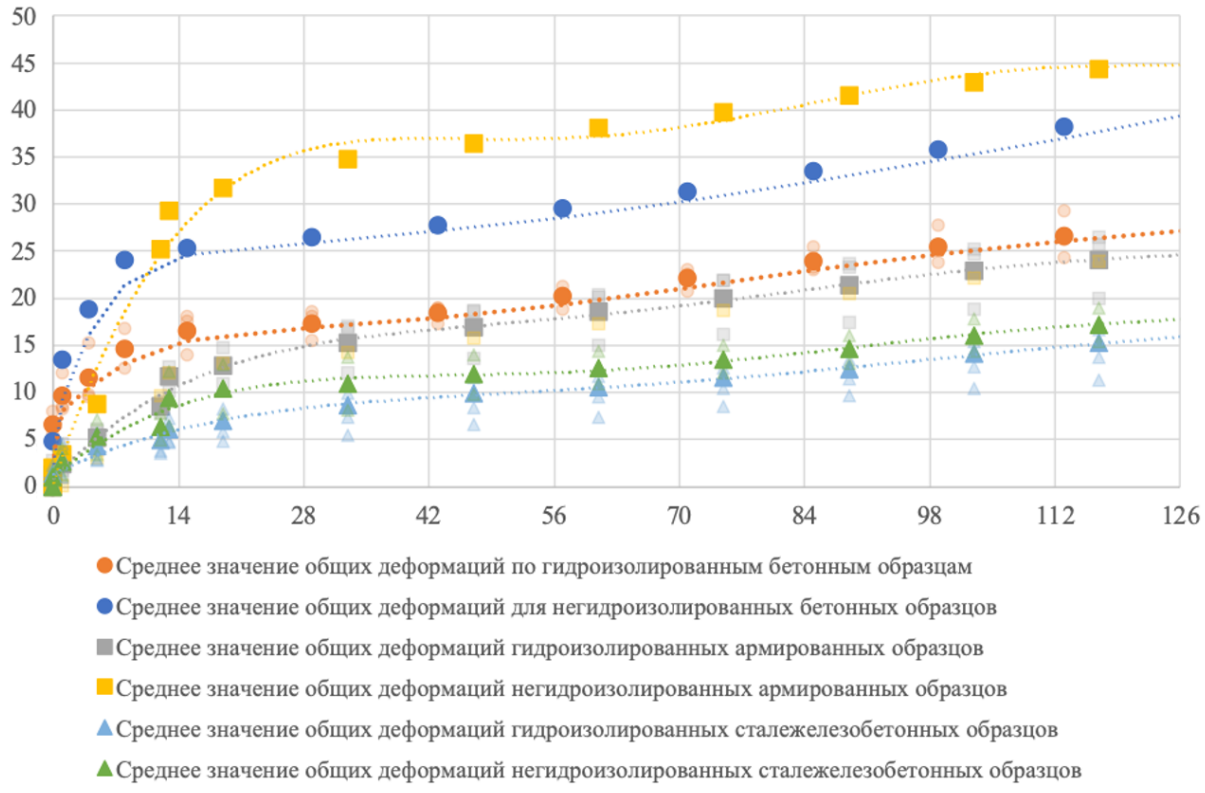

Рисунок 9 - Графики зависимости относительной деформаций ползучести и усадки (*10^{-5}) от времени (сут) для образцов с различным типом армирования

Рисунок 10 – Процесс испытания образцов (параллельные испытания бетонных, армированных, сталежелезобетонных образцов) под длительной нагрузкой в пружинных установках в климатическом помещении

Выводы

1. В рамках исследования была проведена большая экспериментально теоретическая работа по изучению деформирования сталежелезобетонных образцов во время длительных испытаний. В рамках данного комплексного исследования в общей сложности было испытано более 40 образцов, включая подготовительные работы.

2. Несмотря на то, что испытания еще продолжаются уже получены кривые деформирования различных образцов (бетонные, армированные, сталежелезобетонные) при определении ползучести и усадки. Выявлены характерные зависимости и особенности. После окончания эксперимента полученные данные могут использоваться для уточнения деформационных характеристик при выполнении сложных инженерных расчетов.

3. При использовании данных, полученных в результате проведенного экспериментального исследования и будущих работ, в расчетных моделях в качестве набора коэффициентов к жесткостным характеристикам необходимо в обязательном порядке учитывать масштабный фактор при переходе от испытываемых образцов к элементам реальной конструкции, так например сдерживающий фактор вертикальных деформаций в виде стального листа на реальной толстостенной конструкции может быть сильнее выражен по краям элемента (толщина стального листа внешнего листового армирования может составлять более 5 см) и наоборот в средней части такого элемента с внешним листовым армированием деформироваться будет только бетонное сечение (или армированное при наличии в нем дополнительной арматуры), но работающее в условиях условно трёхосного сжатия, продольное усилие при котором обеспечивается сжимающей нагрузкой, а боковое давление за счет сдерживающего фактора стальной обоймы.

4. Для корректного понимания и моделирования работы сталежелезобетонного элемента под длительно действующей нагрузкой необходимы комплексные исследования напряженно деформированного состояния не ограничивающимися только классическими испытаниями на сжатие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chiorino M.A., Carreira J. Factors Affecting Creep and Shrinkage of Hardened Concrete and Guide for Modelling // The Indian Concrete Journal. 2012. № 12(86). С.11-24.
2. Конин Д.В., Крылов А.С., Чесноков Д.А. Оценка результатов испытаний уголковых анкерных упоров на сдвиговое воздействие // Строительная механика и расчет сооружений. 2021. № 2(295). С. 16-26.
3. Крылов А.С. Численные расчеты сталежелезобетонных балок с учетом контактного взаимодействия стального сердечника с бетоном // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 2. С. 175-184.
4. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения [Электронный ресурс]. URL: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293732/4293732352.pdf (дата обращения: 31.01.2024)
5. СП 266.1325800.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования [Электронный ресурс]. URL: https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747659.pdf (дата обращения 31.01.2024).
6. Varma A., Bhardwaj S., Al-Shawaf T. Outline of Specification for Composite SC Walls in Nuclear Facilities // Structures Congress 2015 - Proceedings of the 2015 Structures Congress.
7. Bhardwaj S., Varma A. Effect of Imperfections on the Compression Behavior of SC Walls // Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council Orlando, Florida, April 12-15, 2016.
8. Seo J., Varma A.H., Sener K., Ayhan D. Steel-plate composite (SC) walls: In-plane shear behavior, database, and design // Journal of Constructional Steel Research. 2016. Vol. 119. Pp. 202–215.
9. Zhang K., Varma A. H., Malushte S. R., Gallocher S. Effect of shear connectors on local buckling and composite action in steel concrete composite walls // Nuclear Engineering and Design. 2014. Vol. 269. Pp. 231–239.
10. Jayas B.S., Hosain M.U. Behaviour of headed studs in composite beams: push-out tests // Canadian Journal of Civil Engineering. 1988. № 15(2). Pp. 240–253.
11. Пронин Д.Г., Конин Д.В. Проблемы применения стальных и железобетонных несущих конструкций высотных зданий с точки зрения их огнестойкости // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 1. С. 50-57.
12. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие // Строительство и реконструкция. 2016. № 5(67). С. 31-44.
13. Travush V.I., Konin D.V., Krylov A.S. Strength of composite steel and concrete beams of high-performance concrete // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 3(79). P. 36-44.
14. Крылов А.С. Численные расчеты сталежелезобетонных балок с учетом контактного взаимодействия стального сердечника с бетоном // Вестник Томского Государственного Архитектурно-Строительного Университета. 2019. No. 2. С. 175-184.
15. Арленинов П.Д., Крылов С.Б., Смирнов П.П. Расчетно-экспериментальные исследования изгибаемых трубобетонных конструкций // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2017. № 4. С. 34-38.
16. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
17. Колчунов В.И., Кащавцев А.А., Андросова Н.Б. Исследование деформирования и разрушения составных железобетонных балок в запредельных состояниях // Строительство и техногенная безопасность. 2016. № 4(56). С. 76-78.
18. Колчунов В.И., Андросова Н.Б., Колчина Т.О. К анализу экспериментально-теоретических исследований живучести коррозионно повреждаемых железобетонных балочных систем с разрушением по наклонному сечению // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2-2. С. 111-118.
19. Krylov S.B., Semenov V.A., Konin D.V., Krylov A.S., Rozhkova L.S. О новом Руководстве по проектированию сталежелезобетонных конструкций (в развитие СП 266.13330.2016 Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования) // Academia. Архитектура и строительство. 2019. No. 1. С. 99–106.
20. Травуш В.И., Шахраманьян А.М., Колотовичев Ю.А. «Лахта центр»: автоматизированный мониторинг деформаций несущих конструкций и основания // Academia. Архитектура и строительство. 2018. № 4. С. 94-108.
21. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на внецентренное сжатие // Academia. Архитектура и строительство. 2016. № 3. С. 127-135.
22. Травуш В.И., Конин Д.В., Рожкова Л.С., Крылов А.С. Отечественный и зарубежный опыт исследований работы сталежелезобетонных конструкций на внецентренное сжатие // Строительство и реконструкция. 2016. № 5(67). С. 31-44.

REFERENCES

1. Chiorino M. A., Carreira J. Factors Affecting Creep and Shrinkage of Hardened Concrete and Guide for Modelling. *The Indian Concrete Journal*. 2012. No. 12(86). Pp. 11-24.
2. Konin D.V., Krylov A. S., Chesnokov D. A. Ocenka rezul'tatov ispytanij ugolkovyh ankernyh uporov na sdvigovoe vozdejstvie [Evaluation of the results of the shear impact tests of angle anchor stops]. *Stroitelnaya mekhanika i calculatsionnaya stroitel'nosti*. 2021. No. 2(295). Pp. 16-26.
3. Krylov A.S. Chislennye raschety stalezhelezobetonnyh balok s uchetom kontaktnogo vzaimodejstviya stal'nogo serdechnika s betonom [Numerical calculations of steel-reinforced concrete beams taking into account the contact interaction of steel core with concrete]. *Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. T. 21. No. 2. Pp. 175-184.
4. SP 63.13330.2018 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions [Online]. System requirements: https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293732/4293732352.pdf (date of reference: 31.01.2024)
5. SP 266.1325800.2016 Steel-reinforced concrete structures. Design rules [Online]. System requirements: https://meganorm.ru/Data2/1/4293747/4293747659.pdf (date of reference: 31.01.2024).
6. Varma A., Bhardwaj S., Al-Shawaf T. Outline of Specification for Composite SC Walls in Nuclear Facilities. Structures Congress 2015 - Proceedings of the 2015 Structures Congress.
7. Bhardwaj S., Varma A. Effect of Imperfections on the Compression Behaviour of SC Walls. Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council Orlando, Florida, April 12-15, 2016.
8. Seo J., Varma A. H., Sener K., Ayhan D. Steel-plate composite (SC) walls: In-plane shear behaviour, database, and design. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016. Vol. 119. Pp. 202-215.
9. Zhang K., Varma A. H., Malushte S. R., Gallocher S. Effect of shear connectors on local buckling and composite action in steel concrete composite walls. *Nuclear Engineering and Design*. 2014. Vol. 269. Pp. 231-239.
10. Jayas B. S., Hosain M. U. Behaviour of headed studs in composite beams: push-out tests. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 1988. No. 15(2). Pp. 240-253.
11. Pronin D. G., Konin D.V. Problemy primeneniya stal'nyh i zhelezobetonnyh nesushchih konstrukcij vysotnyh zdanij s tochki zreniya ih ognestojkosti [Problems of application of steel and reinforced concrete load-bearing structures of high-rise buildings in terms of their fire resistance]. *Fire and explosion safety*. 2018. T. 27. No. 1. Pp. 50-57.
12. Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S., Krylov A. S. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt issledovanij raboty stalezhelezobetonnyh konstrukcij na vnecentrennoe szhatie [Domestic and foreign experience in research of steel-reinforced concrete structures operation under off-centre compression]. *Building and Reconstruction*. 2016. No. 5(67). Pp. 31-44.
13. Travush V. I., Konin D. V., Krylov A. S. Strength of composite steel and concrete beams of high-performance concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2018. No. 3(79). Pp. 36-44.
14. Krylov A.S. Chislennye raschety stalezhelezobetonnyh balok s uchetom kontaktnogo vzaimodejstviya stal'nogo serdechnika s betonom [Numerical calculations of steel-reinforced concrete beams taking into account the contact interaction of steel core with concrete]. *Vestnik Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering*. 2019. No. 2. Pp. 175-184.
15. Arleninov P.D., Krylov S.B., Smirnov P.P. Raschetno-eksperimental'nye issledovaniya izgibaemyh trubobetonnyh konstrukcij [Calculation-experimental investigations of the bending pipe-concrete structures]. *Earthquake-resistant construction. Safety of constructions*. 2017. No. 4. Pp. 34-38.
16. Kolchunov V.I., Kolchunov V.I., Fedorova N.V. Deformacionnye modeli zhelezobetona pri osobyh vozdejstviyah [Deformation models of reinforced concrete under special impacts]. *Industrial and Civil Engineering*. 2018. No. 8. Pp. 54-60.
17. Kolchunov V.I., Kashchavtsev A. A., Androsova N. B. Issledovanie deformirovaniya i razrusheniya sostavnyh zhelezobetonnyh balok v zapredel'nyh sostoyaniyah [Investigation of deformation and fracture of composite reinforced concrete beams in forbidden states]. *Construction and technogenic safety*. 2016. No. 4(56). Pp. 76-78.
18. Kolchunov V. I., Androsova N. B., Kolchina T. O. K analizu eksperimental'no-teoreticheskih issledovanij zhivuchesti korrozionno povrezhdaemyh zhelezobetonnyh balochnyh sistem s razrusheniem po naklonnomu secheniyu [To the analysis of experimental and theoretical studies of survivability of corrosion-damaged reinforced concrete beam systems with failure along the inclined section]. *Izvestia South-West State University. Series: Engineering and Technology*. 2012. No. 2-2. Pp. 111-118.
19. Krylov S. B., Semenov V. A., Konin D. V., Krylov A. S., Rozhkova L. S. On the new Guidelines for the Design of Steel-Reinforced Concrete Structures (in development of SP 266.13330.2016 Steel-Reinforced Concrete Structures. Design rules). *Academia. Architecture and Construction*. 2016. No. 1. Pp. 99-106.
20. Travush V.I., Shakhramanyan A. M. Lahta centr: avtomatizirovannyj monitoring deformacij nesushchih konstrukcij i osnovaniya ["Lakhta Centre": automated monitoring of the bearing structures and foundation deformations]. *Academia. Architecture and Construction*. 2018. No. 4. Pp. 94-108.

21. Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S. Eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnyh konstrukcij, rabotayushchih na vnecentrennoe szhatie [Experimental Investigations of Steel-Reinforced Concrete Structures Working in Off-centre Compression]. *Academia. Architecture and Construction*. 2016. No. 3. Pp. 127-135.

22. Travush V. I., Konin D. V., Rozhkova L. S., Krylov A. S. Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt issledovanij raboty stalezhelezobetonnyh konstrukcij na vnecentrennoe szhatie [Domestic and foreign experience in research of steel reinforced concrete structures operation under off-centre compression]. *Building and Reconstruction*. 2016. No. 5(67). Pp. 31-44.

Информация об авторах:

Травуш Владимир Ильич
ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, главный конструктор, заместитель генерального директора по научной работе, Вице-президент РААСН.
E-mail: travush@mail.ru

Арленинов Петр Дмитриевич
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заместитель заведующего лаборатории Механики железобетона.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
доцент кафедры железобетонных и каменных конструкций (ЖБК)д
E-mail: arleninoff@gmail.com

Десяткин Михаил Александрович
ООО «Инфорспроект», г. Москва, Россия,
главный конструктор.
E-mail: mdesyatkin@mail.ru

Иващенко Андрей Николаевич
ООО «Инфорспроект», г. Москва, Россия,
технический директор.
E-mail: a.ivaschenko@inforceproject.ru

Калмакова Полина Сергеевна
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
младший научный сотрудник лаборатории Механики железобетона.
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
аспирант кафедры «Строительного материаловедения».
E-mail: polina15kalmakowa@gmail.com

Каприелов Семен Суренович
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН, заведующий лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».
E-mail: kaprielov@masterbeton-mb.ru

Конин Денис Владимирович
Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией Высотных зданий и сооружений отдела металлических конструкций, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство".
E-mail: konden@inbox.ru

Крылов Алексей Сергеевич
Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Высотных зданий и сооружений, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко АО "НИЦ "Строительство".
E-mail: kryl07@mail.ru

Крылов Сергей Борисович
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, заведующий лабораторией Механики железобетона.
E-mail: Krylov_s_b@mail.ru

Чилин Игорь Анатольевич
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
инженер, научный сотрудник лаборатории № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».
E-mail: chilin@masterbeton-mb.ru

Шейнфельд Андрей Владимирович
Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство», г. Москва, Россия,
доктор технических наук, советник РААСН, заместитель заведующего лабораторией № 16 НИИЖБ им. А.А. Гвоздева АО «НИЦ «Строительство».
E-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru

Information about authors:

Travush Vladimir Il.
GORPROJECT, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, chief designer, deputy director general for scientific work, Vice-President of RAASN.
E-mail: travush@mail.ru

Arleninov Petr D.
JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
Candidate of Technical Sciences, Deputy Head of the Reinforced Concrete Mechanics Laboratory.
National Research Moscow State Construction University" (NIU MSCU), Moscow, Russia,
associate professor of the department of Reinforced Concrete and Masonry Structures (RCS).
E-mail: arleninoff@gmail.com

Desyatkin Mikhail Al.
Inforsproekt, Moscow, Russia,
chief designer.
E-mail: mdesyatkin@mail.ru

Ivashchenko Andrey N.
Inforsproekt, Moscow, Russia,
technical director.
E-mail: a.ivaschenko@inforceproject.ru

Kalmakova Polina S.
JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
junior researcher of the Laboratory of Mechanics of Reinforced Concrete.
National Research Moscow State Construction University" (NIU MSCU), Moscow, Russia,
postgraduate student of the Department of "Building Materials Science".
E-mail: polina15kalmakowa@gmail.com

Kaprielov Semyon S.
JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, professor, Academician of RAASN, Head of Laboratory No. 16 of the A.A. Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (A.A. Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete) of JSC SIC "Stroitelstroy".
E-mail: kaprielov@masterbeton-mb.ru

Konin Denis V.
JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, deputy director for scientific work, head of the laboratory of High-Rise Buildings and Structures of the Metal Structures Department, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Structures, JSC "SIC "Stroitelstroy".
E-mail: konden@inbox.ru

Krylov Alexey S.
JSC Research Center of Construction TSNIISK named after V.A. Koucherenko, Moscow, Russia,
candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory of High-Rise Buildings and Structures, V.A. Kucherenko Central Research Institute of Building Structures, JSC SIC Stroitel.
E-mail: kryl07@mail.ru

Krylov Sergey B.
JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, Head of the Reinforced Concrete Mechanics Laboratory.
E-mail: Krylov_s_b@mail.ru

Chilin Igor An.
JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
engineer, researcher of laboratory No. 16 of A.A. Gvozdev NIIZhB JSC "SIC "Stroitelstroy".
E-mail: chilin@masterbeton-mb.ru

Sheinfeld Andrey V.
JSC Research Center of Construction NIIZHB named after A.A. Gvozdev, Moscow, Russia,
doctor of technical sciences, Advisor of RAASN, Deputy Head of Laboratory No. 16 of the A.A. Gvozdev Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete (NIIZhB named after A.A. Gvozdev, JSC "SIC "Stroitelstroy").
E-mail: sheynfeld@masterbeton-mb.ru