

Industrial Transport of Kazakhstan
ISSN 1814-5787 (print)
ISSN 3006-0273 (online)
Vol. 23. Is. 1. Number 89 (2026). Pp. 151–170
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>
<https://doi.org/10.58420/ptk/2026.89.01.008>
UDC 656.2

EXPERIMENTAL STUDY OF SHORT-TERM COMPRESSIVE STRENGTH OF COMPOSITE REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH HIGH-STRENGTH REINFORCEMENT

P.Yu. Dzekanov¹, Haseeb Rehman²

¹International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan;

²Government Yangtze University of Engineering & Technology, Hubei, China.

E-mail: dzekanov.pavel@mtgu.edu.kz

Pavel Dzekanov — master student, International University of Transport and Humanities, Almaty, Kazakhstan

E-mail: dzekanov.pavel@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9729-113X>;

Haseeb Rehman — Senior Lecturer, Government Yangtze University of Engineering & Technology, Hubei, China

E-mail: Sahtohaseeb4@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0311-8066>.

© P.Yu. Dzekanov, Haseeb Rehman

Abstract. The article presents an experimental study of the short-term compressive resistance of composite reinforced concrete columns with high-strength longitudinal reinforcement of class At-V. The relevance of the study is due to the lack of data on the behavior of composite columns made from concretes of different ages and deformabilities under central and eccentric loading. The aim of the research was to establish the patterns of change in short-term compressive resistance depending on column slenderness, branch joint conditions, and longitudinal force eccentricity. To achieve this, physical experiments were conducted on six composite columns with different branch configurations, accompanied by control cubes and prisms, with deflections and longitudinal deformations of reinforcement measured using strain gauges and dial indicators. Results demonstrated that differences in the deformability of branch concretes lead to uneven stress distribution, increased reinforcement deformability, and changes in failure modes. The study clarified mechanisms of interaction between concrete and high-strength reinforcement in composite sections and highlighted the influence of eccentricity and branch joint conditions on column load-bearing capacity. The practical significance lies in the applicability of the results for the design of precast-monolithic and strengthened reinforced concrete columns in construction and building reconstruction.

Keywords: composite columns, reinforced concrete, high-strength reinforcement, compression, eccentricity, experimental study

For citation: P.Yu. Dzekanov, Haseeb Rehman. Experimental Study of Short-Term Compressive Strength of Composite Reinforced Concrete Columns with High-Strength Reinforcement // Industrial Transport of Kazakhstan. 2026. Vol. 23. No. 89. Pp. 151–170. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2026.89.01.008>

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

ЖОҒАРЫ БЕРІКТІКТІ АРМАТУРАСЫ БАР ҚҰРАМА ТЕМІР-БЕТОН БАҒАНДАРДЫҢ ҚЫСҚА МЕРЗІМДІ ҚЫСУҒА ТӨЗІМДІЛІГІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК ЗЕРТТЕУ

П.Ю. Дзеканов^{1}, Хасиб Рехман²*

¹Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан;

²Мемлекеттік Янцзы инженерлік және технологиялық университеті, Хубэй, Қытай.

E-mail: dzekanov.pavel@mtgu.edu.kz

Павел Дзеканов — магистрант, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

E-mail: dzekanov.pavel@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9729-113X>;

Хасиб Рехман — аға оқытушы, Мемлекеттік Янцзы инженерлік және технологиялық университеті, Хубэй, Қытай

E-mail: Sahtohaseeb4@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0311-8066>.

© П.Ю. Дзеканов, Хасиб Рехман

Аннотация. Мақалада Ат-V класты жоғары беріктікке ие ұзындығына бағытталған арматурамен жасалған құрамалы темір-бетон бағандардың қысқа мерзімді қысылу беріктігін тәжірибелік зерттеу көрсетілген. Зерттеудің өзектілігі әр түрлі жас және деформациялық қасиеттерге ие бетондардан тұратын құрамалы бағандардың орталық және эксцентрикалық жүктемелерге жауап беру деректерінің жеткіліксіздігімен байланысты. Зерттеудің мақсаты бағанның иілгіштігі, тармақтардың қосылу шарттары және ұзындық күші эксцентриситетіне байланысты қысқа мерзімді қысылу беріктігінің өзгеру заңдылықтарын анықтау болды. Мақсатқа жету үшін әртүрлі конфигурациялы алты құрамалы бағандарда физикалық тәжірибелер жүргізілді, бақылау текшелері мен призмалары жасалды, арматураның ұзындығы бойынша деформациялары мен иілу шамалары тензометрлік және индикаторлық құралдар арқылы өлшенді. Нәтижелер көрсеткендей, тармақ бетондарының деформациялық қасиеттеріндегі айырмашылықтар деформациялардың тең бөлінбеуіне, арматура деформациясының артуына және бағандардың бұзылу сипатына әсер етеді. Зерттеу құрамалы қималарда бетон мен жоғары беріктік арматураның өзара әрекеттесу механизмдерін нақтылап, эксцентриситет пен тармақтардың қосылу шарттарының бағанның жүктеме көтеру қабілетіне әсерін көрсетті. Практикалық маңызы – нәтижелерді құрылыс және ғимараттарды реконструкциялау кезінде жинақталған-монолиттік және күшейтілген темір-бетон бағандарды жобалауда қолдану мүмкіндігі.

Түйін сөздер: құрамалы бағандар, темір-бетон, жоғары беріктік арматура, қысылу, эксцентриситет, тәжірибелік зерттеу

Дәйексөздер үшін: П.Ю. Дзеканов, Хасиб Рехман. Жоғары беріктікті арматурасы бар құрама темір-бетон бағандардың қысқа мерзімді қысуға төзімділігін эксперименттік зерттеу // Қазақстан өндіріс көлігі. 2026. Том. 23. № 89. 151–170 бет. (Орыс. тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2026.89.01.008>

Мүдделер қақтығысы: Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЖАТИЮ СОСТАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН С ВЫСОКОПРОЧНОЙ АРМАТУРОЙ

П.Ю. Дзеканов^{1}, Хасиб Рехман²*

¹Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

²Государственный инженерно-технологический университет Янцзы, провинция Хубэй, Китай.

E-mail: dzekanov.pavel@mtgu.edu.kz

Павел Дзеканов — магистрант, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

E-mail: dzekanov.pavel@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9729-113X>;

Хасиб Рехман — старший преподаватель, Государственный инженерно-технологический университет Янцзы, провинция Хубэй, Китай

E-mail: Sahtohaseeb4@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0311-8066>.

© П.Ю. Дзеканов, Хасиб Рехман

Аннотация. В статье представлено экспериментальное исследование кратковременного сопротивления сжатию составных железобетонных колонн с высокопрочной продольной арматурой класса Ат-V. Актуальность работы обусловлена недостаточностью данных о работе составных колонн, сформированных из бетонов различного возраста и деформативности, при воздействии центральных и внецентренных нагрузок. Цель исследования заключалась в установлении закономерностей изменения кратковременного сопротивления сжатию в зависимости от гибкости колонн, условий сопряжения ветвей и эксцентриситета продольной силы. Для достижения цели проведены физические эксперименты на шести составных колоннах с различной конфигурацией ветвей, контрольными кубами и призмами бетона, измерены прогибы и продольные деформации арматуры с использованием тензометрических и индикаторных приборов. Результаты показали, что различия в деформативных свойствах бетонов ветвей приводят к неравномерному распределению деформаций, увеличению деформативности арматуры и изменению характера разрушения колонн. Данные исследования позволили уточнить механизмы совместной работы бетона и высокопрочной арматуры в составных сечениях и выявить влияние эксцентриситета и условий сопряжения ветвей на несущую способность колонн. Практическая значимость работы состоит в возможности использования результатов при проектировании сборно-монолитных и усиленных железобетонных колонн в строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Ключевые слова: составные колонны, железобетон, высокопрочная арматура, сжатие, эксцентриситет, экспериментальное исследование.

Для цитирования: П.Ю. Дзеканов, Хасиб Рехман. Экспериментальное исследование кратковременного сопротивления сжатию составных железобетонных колонн с высокопрочной арматурой // Промышленный транспорт Казахстана. 2026. Т. 23. No. 89. Стр. 151–170. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2026.89.01.008>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Развитие современного строительства характеризуется активным внедрением материалов повышенной прочности и совершенствованием методов расчёта железобетонных конструкций, что особенно актуально при проектировании и усилении сжатых элементов — колонн и стоек. Существенный вклад в исследование работы сжатых железобетонных элементов с высокопрочной продольной арматурой внесён в трудах отечественных и зарубежных авторов, где установлена эффективность применения высокопрочной арматуры в коротких и среднегибких колоннах (Чистяков, 1981: 70–80; Рискинд, 1982: 5–39; Маилян и др., 1982: 47–56; Sheikh, 1982: 703–722).

В то же время анализ опубликованных работ показывает, что основная часть экспериментальных исследований посвящена однородным железобетонным колоннам, тогда как работа составных железобетонных элементов, сформированных из бетонов различного возраста, прочности и деформативности, изучена недостаточно. Особенно ограничены данные о кратковременном сопротивлении сжатию составных колонн средней гибкости, армированных высокопрочной ненапрягаемой арматурой класса Ат-V, при действии центральных и внецентренных нагрузок (Каляскин, 1999: 5–140; Кхлифи, 1998: 6–179).

Актуальность настоящего исследования обусловлена также широким распространением в практике реконструкции зданий и сооружений методов усиления колонн путем устройства монолитных железобетонных обойм, в результате чего формируются составные сечения, работа которых принципиально отличается от работы монолитных элементов (Онуфриев, 1974: 96–103). При этом использование бетонов различного состава и возраста, а также высокопрочной продольной арматуры, приводит к неравномерному распределению деформаций и напряжений, что не в полной мере учитывается существующими расчетными моделями.

Таким образом, несмотря на общий интерес к проблеме повышения несущей способности железобетонных колонн, отсутствуют исчерпывающие экспериментальные данные, позволяющие оценить влияние условий сопряжения ветвей, величины эксцентриситета продольной силы и различий в деформативных свойствах бетона на кратковременное сопротивление сжатию составных железобетонных колонн с высокопрочной арматурой, что определяет актуальность и научную новизну данного исследования.

Объектом исследования являются составные железобетонные колонны средней гибкости.

Предметом исследования является напряжённо-деформированное состояние и несущая способность составных железобетонных колонн с высокопрочной продольной арматурой класса Ат-V при кратковременном центральном и внецентренном сжатии.

Цель исследования — экспериментально установить особенности работы и определить закономерности изменения кратковременного сопротивления сжатию составных железобетонных колонн с высокопрочной арматурой в зависимости от гибкости, условий сопряжения ветвей и эксцентриситета продольной силы.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- провести экспериментальные исследования кратковременного сжатия составных железобетонных колонн при различных эксцентриситетах нагрузки;
- определить влияние различий в деформативных характеристиках бетонов ветвей на распределение деформаций в бетоне и арматуре;
- исследовать развитие прогибов и продольных деформаций арматуры на всех стадиях нагружения;
- установить характер разрушения и предельные деформации высокопрочной арматуры;
- сопоставить полученные экспериментальные результаты с данными ранее выполненных исследований.

Методами исследования являются экспериментальные испытания железобетонных образцов на кратковременное сжатие, измерение деформаций бетона и арматуры с использованием тензометрических и индикаторных приборов, а также анализ и обработка экспериментальных данных в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (ГОСТ 12004–85; ГОСТ 10180–90; ГОСТ 18105–86).

В основе исследования лежит экспериментально-аналитический подход, позволяющий выявить реальные особенности совместной работы бетона и высокопрочной арматуры в составных сечениях.

Гипотеза исследования заключается в том, что наличие бетонов различного возраста и деформативности в составе колонны приводит к неравномерному распределению деформаций и повышенной деформативности арматуры в бетоне намоноличивания, что оказывает существенное влияние на несущую способность и характер разрушения колонн при кратковременном сжатии.

Научная значимость работы состоит в получении новых экспериментальных данных о работе составных железобетонных колонн с высокопрочной арматурой, расширяющих представления о механизме их деформирования и разрушения.

Практическая значимость заключается в возможности использования результатов исследования при расчёте и проектировании сборно-монолитных и усиленных железобетонных колонн в строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Материалы и методы исследования

Настоящее исследование направлено на получение ответов на следующие вопросы исследования:

- каким образом различия в деформативных и прочностных характеристиках бетонов ветвей составных железобетонных колонн влияют на их напряжённо-деформированное состояние при кратковременном сжатии;
- как изменяется несущая способность и характер разрушения составных колонн с высокопрочной продольной арматурой класса Ат-V при центральном и внецентренном нагружении;
- в какой степени условия сопряжения ветвей и величина эксцентриситета продольной силы влияют на распределение деформаций в бетоне и арматуре.

Гипотеза исследования заключается в том, что наличие бетонов различного возраста и деформативности в составных сечениях приводит к неравномерному распределению деформаций и повышенной деформативности высокопрочной арматуры в ветви намоноличивания, что снижает эффективность работы сечения при внецентренном сжатии и определяет особенности разрушения колонн.

Исследование проводилось поэтапно:

- анализ и обобщение результатов ранее выполненных экспериментальных и теоретических работ по кратковременному сопротивлению сжатию железобетонных колонн с высокопрочной арматурой (Чистяков, 1981: 70–80; Рискинд, 1982: 5–39; Каляскин, 1999: 5–140);
- разработка программы экспериментальных исследований и проектирование опытных образцов составных железобетонных колонн;
- изготовление образцов колонн, контрольных кубов и призм бетона, а также подготовка арматурных образцов;
- проведение кратковременных испытаний составных колонн при центральном и внецентренном сжатии;
- определение прочностных и деформативных характеристик бетона и арматуры;
- обработка и анализ экспериментальных данных, оценка характера деформирования и разрушения.

Материалом исследования послужили экспериментальные данные, полученные при испытаниях шести составных железобетонных колонн средней гибкости, изготовленных из обычных тяжёлых бетонов на плотных заполнителях и армированных высокопрочной ненапрягаемой продольной арматурой класса Ат-V (A800).

Каждая колонна состояла из двух ветвей, соединённых по всей длине стальными хомутами. Суммарное поперечное сечение колонн имело прямоугольную форму размером 100×120 мм, при длине образцов 1500 мм, что обеспечивало гибкость в диапазоне $\lambda = 44\text{--}52$.

Ветви имели различные размеры поперечного сечения (100×60 мм и 120×50 мм) и изготавливались из бетонов разного состава и возраста, что моделировало работу

усиленных сборно-монолитных железобетонных колонн. Соединение ветвей осуществлялось с разрывом во времени, составлявшим в среднем 135 суток, что обеспечивало различие деформативных характеристик бетона ветвей.

Продольная арматура каждой ветви включала два стержня диаметром 12 мм класса Ат-V, а поперечное армирование выполнялось стальными хомутами из проволоки диаметром 4 мм класса Вр-I с шагом 100 мм.

Для определения характеристик бетона одновременно с основными образцами изготавливались контрольные кубы и призмы; всего для каждого замеса испытывалось не менее пяти кубов и трёх призм, что обеспечивало статистическую надёжность полученных данных (ГОСТ 10180–90).

Основным методом исследования являлся физический эксперимент, включающий кратковременные испытания железобетонных колонн на сжатие.

Кратковременные испытания проводились в специально изготовленной установке в виде жёсткого металлического портала с использованием гидравлического домкрата. Нагружение осуществлялось ступенчато, с фиксацией показаний измерительных приборов на каждом этапе нагружения.

Испытания выполнялись при центральном и внецентренном сжатии с относительными эксцентриситетами $l_0/hl_0/h$ от 0 до 0,208. Эксцентриситеты задавались как вдоль шва сопряжения ветвей, так и в перпендикулярном направлении, что позволяло оценить влияние условий сопряжения на работу колонн.

Продольные деформации арматуры измерялись с помощью тензoeлектродатчиков, наклеенных на арматурные стержни до бетонирования, и дополнительно контролировались индикаторами часового типа. Прогобы колонн фиксировались прогибомерами системы Максимова.

Прочностные и деформативные характеристики бетона определялись по стандартным методикам на контрольных образцах в соответствии с требованиями ГОСТ 10180–90 и ГОСТ 18105–86. Испытания арматуры на растяжение проводились согласно ГОСТ 12004–85.

Для изучения деформативных свойств бетона при длительном нагружении использовались пружинные установки, позволяющие определить деформации ползучести и усадки бетона, необходимые для анализа влияния быстронатекающей ползучести на работу составных колонн при кратковременном нагружении.

Методологическая новизна исследования заключается в комплексном экспериментальном изучении работы составных железобетонных колонн средней гибкости с высокопрочной арматурой, изготовленных из бетонов различного возраста и деформативности, при различных схемах эксцентренного нагружения. В отличие от ранее опубликованных работ, в данном исследовании особое внимание уделено совместности деформирования ветвей и распределению деформаций в высокопрочной арматуре, что позволяет более полно оценить механизмы разрушения и резервы несущей способности таких конструкций.

Результаты и обсуждение

На кафедре «Транспортное строительство, мосты и тоннели» в Международном транспортно-гуманитарном университете были проведены экспериментальные исследования и обработка их результатов по изучению кратковременного сопротивления сжатию составных железобетонных стержней из обычных тяжелых бетонов на плотных заполнителях с высокопрочной продольной арматурой класса Ат - V (A800). Изучалось влияние величины эксцентриситетов продольной силы и их направления на деформации и несущую способность колонн.

Влияние вышеизложенных факторов исследовалось при значениях гибкости, лежащих в пределах от $\lambda = 52$ до $\lambda = 44$.

При выборе значения гибкости принималось во внимание, что к началу проведения данных исследований был уже накоплен значительный экспериментальный материал по изучению как кратковременного (в основном), так и длительного сопротивления сжатию коротких железобетонных стоек, и целесообразность применения в них высокопрочной арматуры для продольного армирования не вызывала сомнений. Имеются, прежде всего, в виду работы Е. А. Чистякова и его учеников (Чистяков, 1981: 70–80; Чистяков, 1975: 15–127), Б.Я.Рискинда (Рискинд, 1982: 5–39), Е. И. Гамаюнова (Гамаюнов, 1968: 26–39) и других исследователей (Довгалкж, 1975: 15–137; Каляскин, 1999: 5–140; Кхлифи, 1998: 6–179; Маиллян, 1982: 47–56; Фролов, 1988: 17; Sheikh, 1982: 703–722).

С практической точки зрения принятые значения гибкости $\lambda = 52$ и $\lambda = 44$ можно, очевидно, считать величиной, которая характеризует наиболее оптимальное соотношение геометрических размеров поперечного сечения и длины сжатых железобетонных элементов. При разработке программы экспериментального исследования учитывалось, что в литературе отсутствуют надежные опытные данные о работе стоек с высокопрочной арматурой с принятой в наших исследованиях или близкой к ней гибкостью. Как известно, при указанном значении гибкости становятся практически неэффективными попытки использования косвенного (усиленного поперечного) армирования (Scott, 1982: 13–27).

Принципиальным является также соображение, что работа железобетонных стержней, составленных из различных бетонов, моделирует, по существу, работу железобетонных колонн, усиленных монолитными железобетонными обоймами. Такой способ усиления железобетонных колонн реконструируемых зданий и сооружений является одним из наиболее распространенных в строительной практике (Онуфриев, 1974: 96–103).

Дополнительную актуальность рассматриваемой проблеме придает возможность использования при возведении сборно-монолитных конструкций и реконструкции зданий материалов повышенной прочности, в частности, высокопрочной арматуры.

Для изучения особенностей взаимодействия отдельных элементов составных железобетонных стержней, содержащих высокопрочную продольную арматуру класса Ат-V и бетоны с различными деформативными и прочностными характеристиками были изготовлены 6 образцов колонн.

Каждая из колонн состояла из 2-х ветвей, соединенных по всей длине хомутами. Колонны имели суммарное поперечное сечение прямоугольной формы размером $h \times b = 100 \times 120$ (Рис. 1, 2, 3) Варьируемыми факторами являлись условия сопряжения ветвей, которые имели также прямоугольное сечение с размерами 100 x 60 мм и 120 x 50 мм. Ветви образцов серии К-1 соединялись вдоль стороны шириной 100мм.

Оставшиеся образцы серии К-II соединялись вдоль стороны шириной 120мм (Рис. 1, 2, 3). Составы использованных бетонов указаны в таблице 1.

Шаг стальных хомутов из проволоки диаметром 4мм класса Вр - 1 был постоянным и равным 100 мм. Продольная арматура каждой из ветвей содержала 2 арматурных стержня диаметром 12 мм класса Ат - V (Захаров, 2005: 161–163; Узунова, 2005: 243–245; Узунова, 2006: 125–129). Прочностные и деформативные характеристики использованной продольной арматуры, определенные по испытаниям на растяжение образцов, отрезанных от основных стержней арматуры (ГОСТ 12004–85, 1985: 1–24), представлены в таблице 2. и на рисунке 1.

Таблица 1 - Составы бетонных смесей в расчете на 1 м³

Номера составов	Цемент кг	Щебень кг	Песок, кг	Вода, кг	W/C
Первый (ветвь 1)	330	1267	700	190	0,59
Второй (ветвь 2)	340	1170	648	200	0,59

Таблица 2 - Прочностные и деформативные характеристики арматурной стали At-V

Класс стали	$\sigma_{0,02}$ МПа	$\sigma_{0,05}$ МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_{и}$ МПа	$\delta_{и}$ %	$E_s \cdot 10^{-5}$ МПа
At-V	628,5	777,1	985,0	1257	7,5	1,92

Для определения прочностных и деформативных характеристик бетонов опытных образцов вместе с ними для каждого замеса были изготовлены контрольные кубы и призмы (ГОСТ 10180–90, 1990: 1–24; ГОСТ 18105–86, 1987: 1–19). Средние значения характеристик бетона, полученные по испытаниям этих образцов (для каждого испытания по 5 контрольных кубов и 3 призмы) в разные возрасты бетона представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Прочностные и деформативные характеристики бетонов

Номер состава	Возраст t, сут.	R, МПа	R _в , МПа	E _в · 10 ³ МПа
Первый (ветвь 1)	15	14,2	9,6	2,27
	30	16,1	10,6	2,27
	60	16,7	11,0	2,34
	90	16,8	11,2	-
	150	17,0	11,6	-
	400	17,5	11,5	2,4
Второй (ветвь 2)	7	12,2	8,1	1,73
	35	14,6	9,6	2,17
	120	15,8	10,9	2,34
	180	16,2	11,2	-
	240	16,1	11,5	2,17

Бетонирование всех образцов производилось в деревянной опалубке. Бетонная смесь укладывалась вручную с последующим уплотнением глубинным вибратором. Отформованные образцы набирали прочность в естественных условиях при постоянном увлажнении наружных поверхностей.

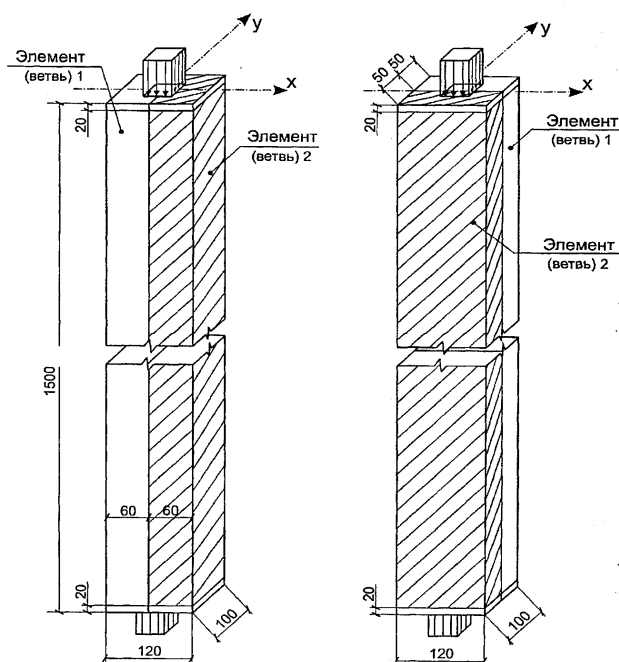


Рис. 1. Особенности компоновки составных сечений опытных колонн серии К-1 и К- II и схемы испытаний их на сжатие

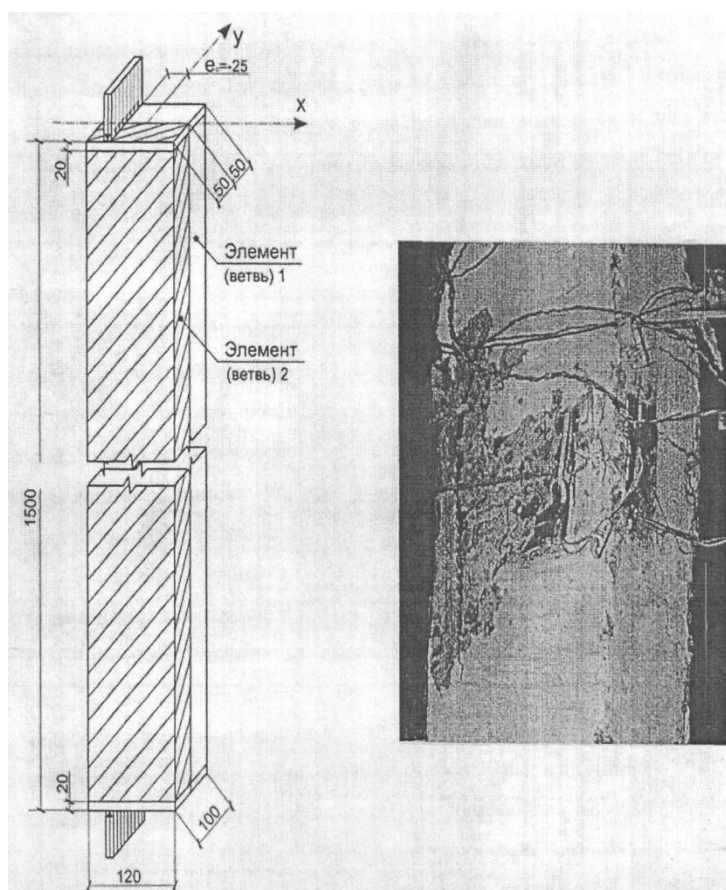


Рис. 2. Схема испытаний опытных колонн серии К-II на внецентренное сжатие и фотография разрушения колонны

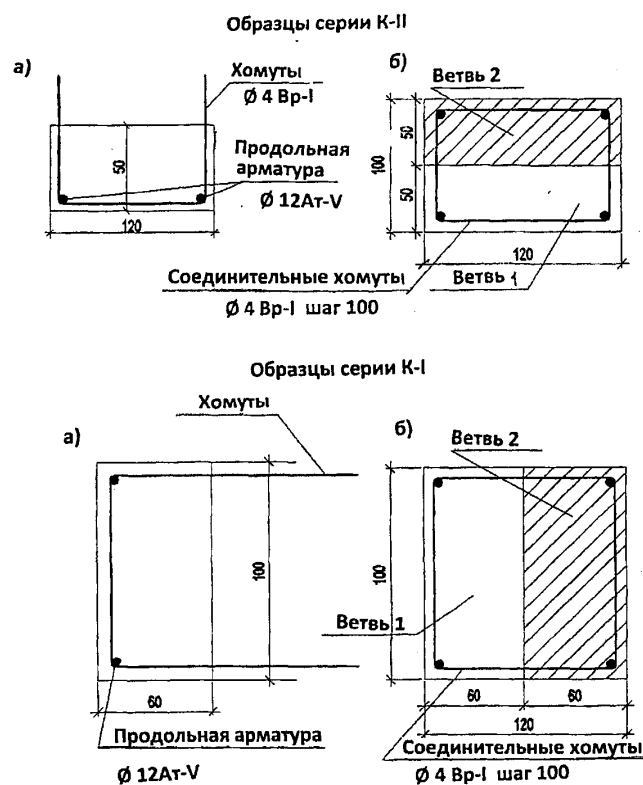


Рис. 3. Экспериментальные образцы железобетонных стержней:

- а) ранее уложенная ветвь 1, представляющая «старый сборный» бетон;
 б) образцы после соединения ветвей из бетона, изготовленного ранее (ветвь 1) и изготовленного позже бетона (ветвь 2)

Так как главной задачей исследования являлось изучение особенностей взаимодействия бетонов с различными деформативными характеристиками (ветви 1 и 2) и совместности их деформирования с высокопрочной арматурой класса Ат - V (A800), то бетонирование ветвей производилось с разрывом во времени, равном в среднем 135 суткам. По прошествии семи суток после соединения ветвей из «сборного», т.е. ранее уложенного (ветвь 1) и «монолитного» (ветвь 2) бетонов, уложенного через указанные 135 суток, проводились кратковременные испытания до разрушения полученных таким образом составных стержней сжимающей силой с различными относительными эксцентриситетами l_0/h изменяющимися от 0 до 0,208. Кратковременные испытания образцов производились в специально изготовленной установке в виде жесткого металлического портала (Рис. 4). Нагрузку создавали с помощью гидравлического домкрата, соединенного с ручной насосной станцией. Нагружение производилось этапами. На каждом из этапов снимали показания по приборам сразу после приложения нагрузки и перед следующим этапом нагружения. Продольные деформации арматуры измеряли с помощью тензодатчиков, наклеенных на арматуру перед бетонированием и дополнительно контролировались показаниями индикаторов часового типа. Прогибы измеряли прогибомерами системы Максимова. Испытания проводили по «основной схеме», т.е. с шарнирным закреплением концов стержней. Гибкость в направлении продольного изгиба была переменной, и при длине колонны 1500 мм и размерах поперечного сечения 100 х 120 мм колебалась в зависимости от выбранного направления заданного или случайного эксцентриситета, но не превышала величины $\lambda = 52,5$ (Рис. 1, 2, 3).

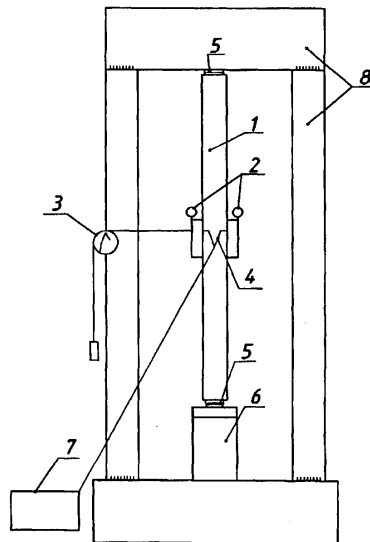


Рис. 4. Схема установки для проведения кратковременных испытаний основных образцов: 1 - образец; 2 - индикаторы; 3 - прогибомер системы Максимова; 4 - провода тензодатчиков; 5 - шарнирная опора; 6 - гидравлический домкрат; 7 - цифровой вольтметр; 8 - сварной стальной портал

Эксцентриситеты продольных сил, включая и их случайные значения, не превышали 25 мм. Эти эксцентриситеты или задавались вдоль швов соединения ветвей, или считались направленными (случайными) в перпендикулярном по отношению к этим швам направлении в сторону и «монолитного» и «сборного» бетонов. Величина заданного эксцентриситета принималась из соображения, чтобы сечения образцов в момент нагружения оказывались полностью сжатыми. Следовательно, гибкости колонн в плоскости заданных или случайных эксцентриситетов были различными (43,4 и 52,5). Таким образом, гибкость λ задавалась как независимый варьируемый параметр наравне с условиями сопряжения ветвей и величиной относительных эксцентриситетов. В процессе кратковременных испытаний фиксировались на всех этапах нагружений изменения

продольных деформаций высокопрочной арматуры и перемещения средних сечений колонн, начиная с первых этапов нагружения и вплоть до разрушения образцов. Потеря несущей способности фиксировалась по факту непосредственного разрушения колонн или по максимальному значению показания монумента, которые, несмотря на «подкачки» насосной станции, удержать на отмеченном уровне не удавалось. В этом случае одновременно развивались значительные прогибы и продольные деформации. Непосредственное разрушение характеризовалось обычно хрупким раздроблением бетона на приопорных участках колонн и имело место в большинстве случаев при нулевых значениях начальных эксцентриситетов.

Испытания вспомогательных образцов (призм и кубов) с целью определения прочностных и деформативных характеристик - кубиковой и призмной прочности бетонов, а также модулей упругости - проводились по стандартной методике на пятидесятитонном прессе в соответствии с ГОСТ 10180 -90 (ГОСТ 10180–90, 1990: 1–24). Для изучения деформативных свойств бетона при длительном нагружении, необходимых для построения уравнения связи между напряжениями и деформациями в условиях как длительной так и кратковременной ползучести бетона, использовались пружинные установки.

Сама ползучесть бетона изучалась на призмах 100 x 100 x 400 мм, каждая из которых подвергалась длительному сжатию в отдельных пружинных установках (Рис. 5).

На протяжении всего периода длительных испытаний с помощью, индикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм проводились измерения деформаций свободной усадки ненагруженных бетонных призм (Рис. 6). При определении характеристик ползучести из полных деформаций бетонных призм исключались деформации свободной усадки бетона. Кривые усадки бетонов изображены на рисунках 7 и 8.

Анализ влияния влажности окружающей среды на процесс развития деформаций усадки и ползучести производился с помощью психрометра, показания которого снимались синхронно с фиксацией деформаций ползучести и усадки.

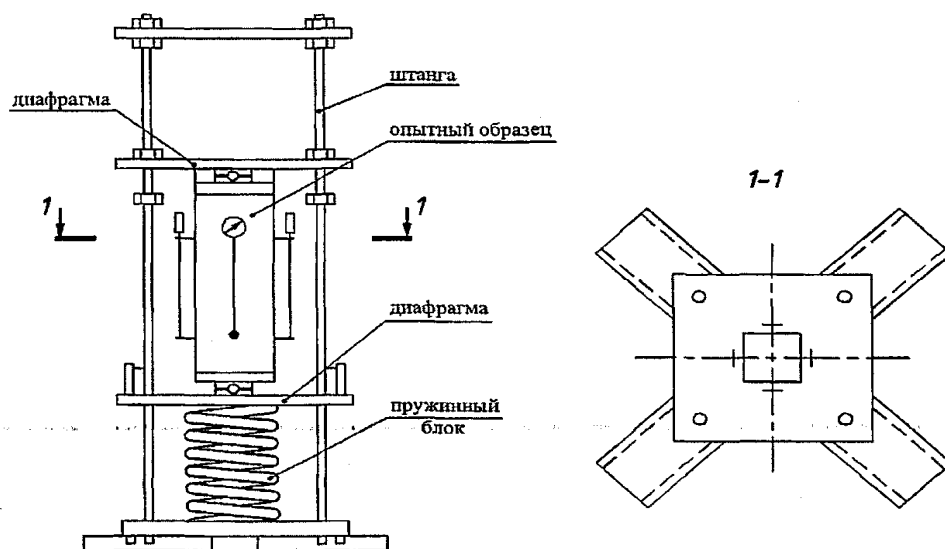


Рис. 5. Общий вид установок и образцов при испытаниях бетона на ползучесть

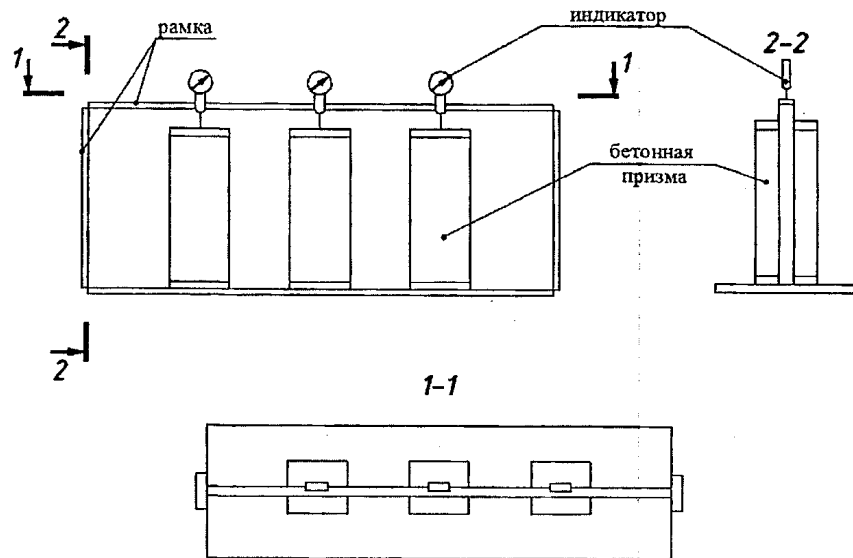


Рис. 6. Общий вид установок и образцов при испытаниях бетона на усадку

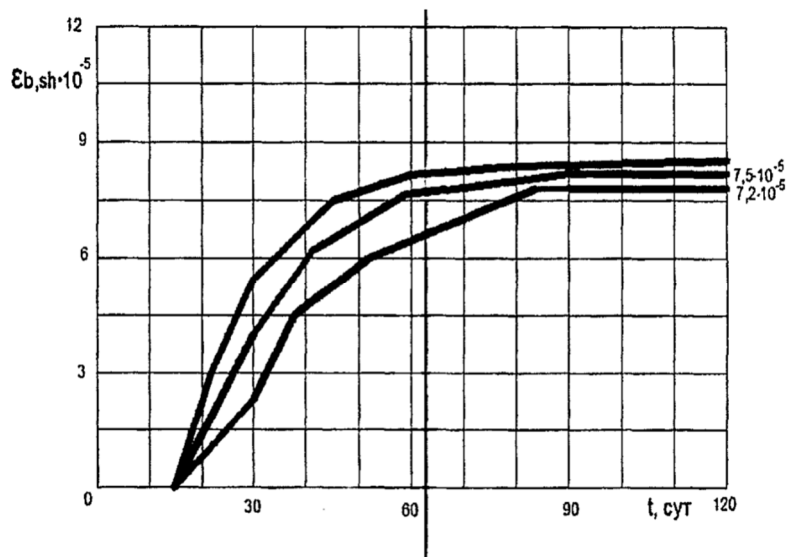


Рис. 7. Кривые усадки бетона 1 ветви

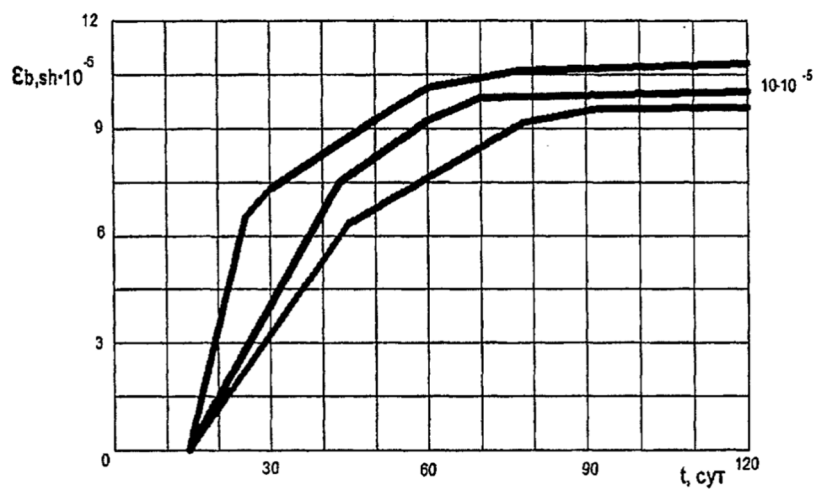


Рис. 8. Кривые усадки бетона 2 ветви

Результаты кратковременных испытаний вспомогательных образцов, включая арматурные образцы, указаны в таблицах 2 и 3. Результаты длительных испытаний по

определению деформаций усадки и ползучести сборного (состав 1) и монолитного (состав 2) бетонов приведены в таблицах 4, 5, 6 и 7.

Для всех возрастов наблюдения кривые характеристик ползучести имеют одну общую для них особенность - быстрое, в течение первых суток, и даже часов, натекание деформаций и затем убывание их по экспоненте с приблизительно одинаковой скоростью (Рис. 9).

Величина быстронатекающих деформаций ползучести весьма значительна и колеблется в пределах от 40 до 60 % от полных, т.е. предельных значений для моментов времени, когда их затухание становится очевидным. Повторяем, что эти данные необходимы для оценки влияния быстронатекающей ползучести бетона на напряженно-деформированное состояние сечений при кратковременном действии эксплуатационной нагрузки.

Таблица 4 - Средние значения деформаций усадки ε_b , ε_{sh} , - ползучести ε_b , ρ_l , упругих деформаций ε_{be} и полные их величины ε_b , а также характеристики коэффициента ползучести $\varphi_{b,t}$ для сборного бетона (состав «1») при нагружении в возрасте $\tau_1 = 153$ суток.

Длительн. наблюдения $t - \tau_1$, сут	$\varepsilon_b \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_{be} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, \varepsilon_{sh} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, \rho_l \cdot 10^{-5}$	$\varphi_{b,t}$
2	70,48	40,5	1,01	28,97	0,74
7	80,04	40,5	1,04	38,5	0,96
12	88,0	40,5	1,15	46,35	1,12
17	93,0	40,5	1,03	51,47	1,26
24	95,5	40,5	1,05	53,95	1,31
33	98,0	40,5	1,0	56,5	1,42
42	95,5	40,5	1,6	53,4	1,35
52	102,2	40,5	1,52	60,0	1,5
85	112,25	40,5	1,65	70,6	1,74
149	118,26	40,5	1,86	75,9	1,87

Таблица 5 Средние значения деформаций усадки ε_b , ε_{sh} ; - ползучести ε_b , ρ_l ; упругих деформаций ε_{be} и полные их величины ε_b , а также характеристики коэффициента ползучести $\varphi_{b,t}$ для сборного бетона (состав «1») при нагружении в возрасте $\tau_1 = 298$ суток.

Длительн. наблюдения $t - \tau_1$, сут	$\varepsilon_b \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_{be} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, \varepsilon_{sh} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, \rho_l \cdot 10^{-5}$	$\varphi_{b,t}$
1	52,5	37,75	1,03	13,72	0,39
7	57,5	37,75	1,04	18,71	0,5
14	61,45	37,75	2,05	21,65	0,57
30	67,2	37,75	2,03	27,42	0,78
60	70,0	37,75	1,8	30,45	0,85
90	75,75	37,75	1,95	36,05	0,95
150	77	37,75	2,06	37,19	0,98

Таблица 6 - Средние значения деформаций усадки ε_b , ε_{sh} - ползучести ε_b , ρ_l ; упругих деформаций ε_{be} и полные их величины ε_b , а также характеристики коэффициента ползучести $\varphi_{b,t}$ для сборного бетона (состав «2») при нагружении в возрасте $\tau_1 = 7$ суток.

Длительн. наблюдения $t - \tau_1$, сут	$\varepsilon_b \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_{be} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, \varepsilon_{sh} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, \rho_l \cdot 10^{-5}$	$\varphi_{b,t}$
2	41,1	32,9	1,0	10,2	0,31
7	58,4	32,9	4,0	21,5	0,63
12	67,1	32,9	5,5	28,7	0,87
17	74,3	32,9	6,5	34,6	1,05
24	79,2	32,9	7,5	38,8	1,18
31	83,15	32,9	8,25	42,0	1,28

40	93,7	32,9	9,7	51,1	1,55
50	110,1	32,9	10,5	66,7	2,03
83	114,4	32,9	10,8	70,7	2,15
150	122,4	32,9	11	78,5	2,4

Таблица 7 - Средние значения деформаций усадки ε_b , S_{hi} - ползучести ε_b , p_i упругих деформаций ε_{be} и полные их величины ε_b , а также характеристики коэффициента ползучести $\varphi_{b,t}$ для сборного бетона (состав «2») при нагружении в возрасте $t_1 = 193$ суток.

Длительн. наблюдения $t - t_1$, сут	$\varepsilon_b \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_{be} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, S_{hi} \cdot 10^{-5}$	$\varepsilon_b, p_i \cdot 10^{-5}$	$\varphi_{b,t}$
1	72,25	57,5	1,0	13,75	0,24
7	80,0	57,5	1,0	21,5	0,37
14	91,5	57,5	2,5	31,5	0,55
30	103,98	57,5	5,35	43,13	0,72
60	110,5	57,5	6,0	47,0	0,85
90	121,2	57,5	7,0	56,7	0,99
150	131,2	57,5	7,2	67,5	1,17

В таблице 8 приведены средние значения прогибов и продольных деформаций наиболее сжатой и менее сжатой арматуры основной ветви «1» ε'_{si} и ε_{si} , а также для ветви усиления «2» - ε'_{s2} и ε_{s2} . Эти значения выбраны для уровней сжатия, близких к уровням длительного сжатия для части колонн, подвергнутых впоследствии испытаниям до разрушения после предварительной длительной выдержки под нагрузкой указанного уровня.

На рисунках 10 и 11 показана динамика развития прогибов и деформаций в наиболее сжатой арматуре с первых этапов нагружения вплоть до разрушения колонн.

В таблице 9 приведены максимальные значения продольных деформаций наиболее сжатой арматуры, развившиеся в ветвях колонн к моменту разрушения. В таблице разрушающее усилие N_{ult} является средним значением разрушающих усилий для двух образцов-близнецов.

Таблица 8 - Значения средних (из двух образцов) деформаций наиболее сжатой ε'_{si} и менее сжатой ε_{si} арматуры колонн при $N/N_u = 0.74 \dots 0.79$

Образцы колонн	Усилие сжатия N , кН	Уровень сжатия N/N_u	Эксцентриситет e_0 , мм	Деформация арматуры ветви «1» $\varepsilon'_{s1} \cdot 10^{-5}$	Деформация арматуры ветви «1» $\varepsilon_{s1} \cdot 10^{-5}$	Деформация арматуры ветви «2» $\varepsilon'_{s2} \cdot 10^{-5}$	Деформация арматуры ветви «2» $\varepsilon_{s2} \cdot 10^{-5}$	Прогиб f , см
К-I-1, К-I-2	277,0	0,745	0	142,7	128,0	158,0	136,0	0,4
К-II-1, К-II-2	277,0	0,79	0	-	123,3	204,8	-	0,3
К-II-7, К-II-8	184,5	0,76	25	187,7	-42,9	237	19,1	0,6

Таблица 9 - Предельные значения деформаций арматуры

Образцы колонн	Разрушающее усилие N_{ult} , кН	Эксцентриситет e_0 , мм	Деформация ветви «1» $\varepsilon_{s1} \cdot 10^{-5}$	Деформация ветви «2» $\varepsilon_{s2} \cdot 10^{-5}$
К-I-1, К-I-2	372	0	376	529
К-II-1, К-II-2	351	0	—	456,2
К-II-7, К-II-8	243	25	518	840

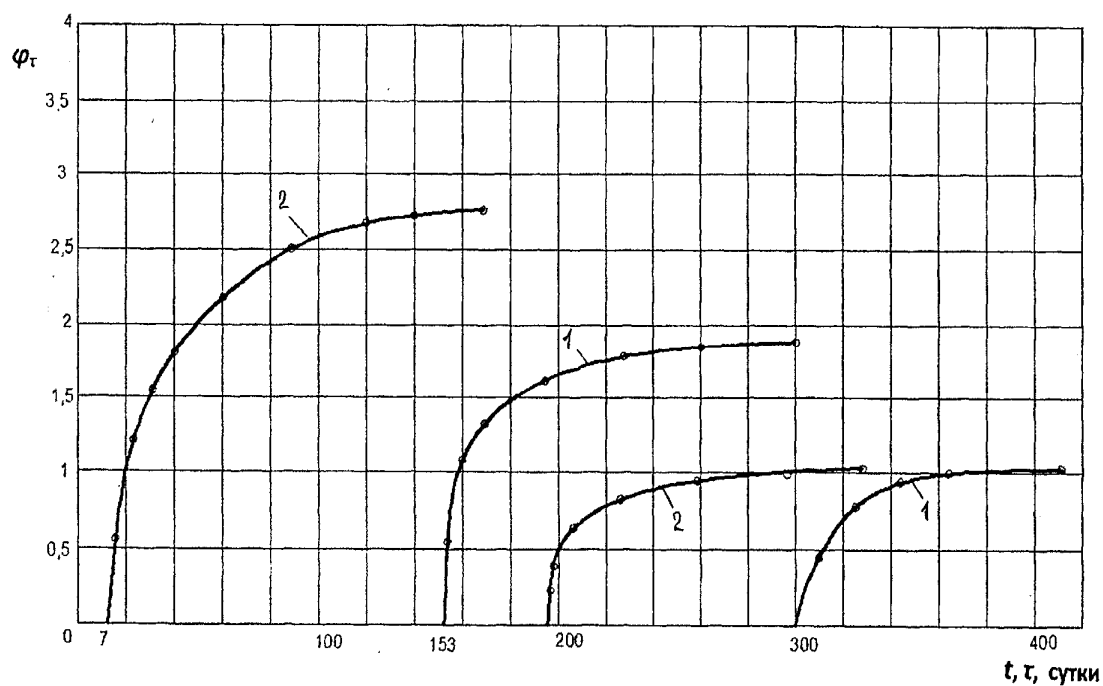


Рис. 9. Изменение во времени коэффициента ползучести φ_t , в зависимости от возраста бетона в момент нагружения t и длительности нагружения $t - \tau$ для 1-го (ранее изготовленного) и 2-го (изготовленного позднее) бетонов

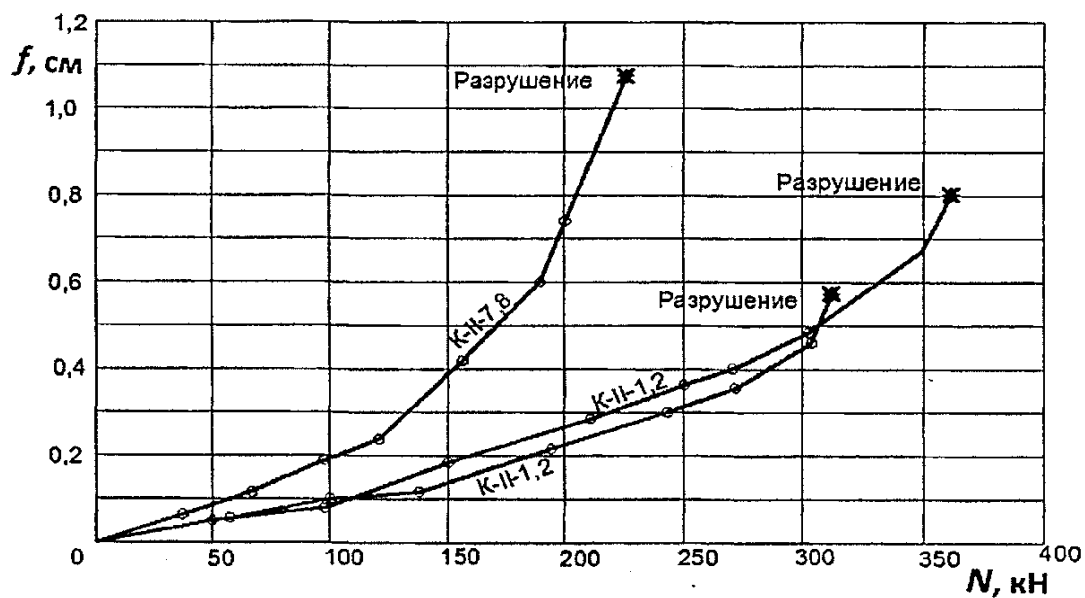


Рис. 10. Развитие прогибов f у опытных колонн в зависимости от уровня нагружения



Рис. 11. Развитие деформаций ε_s' в наиболее сжатой арматуре опытных образцов

Рассматривая особенности развития перемещений опытных образцов и продольных деформаций арматуры, нетрудно установить, что нагрузке, составляющей приблизительно 75 % от разрушающей при сжатии, близком к ийсовому, скорость роста этих параметров была практически постоянной. Только после достижения указанного уровня нагружения эта скорость заметно увеличивалась. При наличии заданных начальных эксцентриситетов скорость нарастания прогибов и деформации арматуры по мере приближения к разрушающей нагрузке возрастала в 5–6 раз. На этапах, соответствующих разрушению или непосредственно им предшествующих приращению прогибов и деформаций становились практически неконтролируемыми, т.е. скорость их нарастания приобретала «лавиный» характер. Наблюдались существенные различия и в характере разрушения образцов. В первом случае (при условно осевом сжатии) разрушение имело, как правило, хрупкий характер и сопровождалось разрушением бетона на приопорных участках. Во внецентренно сжатых колоннах незадолго до разрушения развивались значительные прогибы, а само разрушение сопровождалось значительным развитием трещин в растянутой зоне.

Наблюдалась значительная разница в абсолютных значениях деформаций наиболее сжатой арматуры колонн при условно осевом сжатии и внецентренно нагруженных колонн. У последних они достигали значений близких к 0.8 %, что в полтора-два раза превышает предельные деформации арматуры образцов при условно осевом сжатии. Следует, однако отметить, что безусловно осевого сжатия при отсутствии заданных начальных эксцентриситетов на всех этапах приращения нагрузок добиться не удавалось. Уже при нагрузках, составлявших приблизительно 50 % от разрушающих, развивались заметные перемещения (прогибы) средних по длине сечений колонн, и наблюдалась значительная разность в приращениях продольных деформаций у противоположных граней колонн. Обычно наибольшие значения деформаций отмечались у наружных граней со стороны ветвей «2» - бетона намоноличивания. Однако вплоть до разрушения колонн сечения оставались полностью, хотя и неравномерно сжатыми. Иная картина отмечена для внецентренно сжатых колонн с начальными эксцентриситетами, расположенными вблизи границы упругого ядра сечения. В стадиях не только близких к разрушению, но и на начальных этапах нагружений в арматуре, наиболее удаленной от линии действия продольного сжимающего усилия, развивались растягивающие напряжения, которые значительно отличались друг от друга в образцах близнецах, находившихся в

приблизительно одинаковых начальных условиях. Это обстоятельство мы объясняем развитием дополнительных случайных эксцентриситетов, направление которых могло совпадать и не совпадать с направлением заданных начальных эксцентриситетов. Впрочем, значительного влияния случайных, даже «разнонаправленных» эксцентриситетов на величины прогибов, продольных деформаций и самих разрушающих усилий у внецентренно сжатых колонн не наблюдалось.

Считаем, однако, необходимым вновь подчеркнуть тот факт, что во всех случаях условно центрального и внецентренного сжатия при прочих одинаковых условиях наибольшие по величине продольные деформации, как следует из рисунка 11 развивались в арматуре, расположенной в ветвях «2», т.е. в бетоне намоноличивания. В образцах К- II - 1 и К- II - 2, ветви «1» и ветви «2» компоновались таким образом, что наиболее вероятное развитие случайных эксцентриситетов происходило в направлении ветви «1», бетон которой обладал большей «жесткостью». Но даже в этом случае повышенная деформативность ветви «2» (бетон намоноличивания) приводила к развитию больших деформаций в арматуре, находящейся в этих ветвях.

Заключение

В ходе выполненного исследования была рассмотрена и проанализирована заявленная научная проблема, имеющая теоретическую и прикладную значимость для соответствующей области научного знания. Актуальность выбранной темы обусловлена необходимостью уточнения существующих подходов, а также разработкой и обоснованием новых решений, направленных на углубление и расширение представлений о закономерностях исследуемых процессов и объектов.

Поставленная цель исследования была достигнута посредством последовательной реализации комплекса взаимосвязанных задач, сформулированных на начальном этапе работы. Для её достижения была разработана и применена научно обоснованная методология, включающая анализ теоретических источников, обобщение ранее полученных научных результатов, а также использование современных методов исследования, адекватных поставленным задачам.

В рамках исследования были использованы как общенаучные методы (анализ, синтез, индукция, дедукция, системный и структурно-функциональный подходы), так и специальные методы, обеспечивающие получение достоверных качественных и количественных результатов. Применение выбранных методов позволило всесторонне изучить объект и предмет исследования, выявить существенные связи и зависимости, а также обеспечить воспроизводимость и научную корректность полученных выводов.

Этапность исследования способствовала логической последовательности работы: от анализа исходных данных и теоретических положений — к обоснованию гипотезы, её проверке и формированию итоговых выводов. Таким образом, цели и методы исследования реализованы в полном объёме и в строгом соответствии с поставленной научной задачей.

В результате проведённого исследования получен ряд научно значимых результатов, расширяющих и уточняющих существующие представления в рассматриваемой области. В частности, были систематизированы и критически проанализированы основные научные подходы к изучаемой проблеме, что позволило выявить их ограничения и противоречия, а также определить направления дальнейшего развития теории.

На основе анализа и обработки исследовательского материала установлены новые или уточнены ранее известные закономерности, подтверждающие выдвинутую гипотезу. Полученные результаты свидетельствуют о корректности исходных предположений и демонстрируют их научную состоятельность. Особое значение имеет то, что результаты исследования не дублируют ранее опубликованные выводы, а дополняют их, обеспечивая элемент научной новизны.

Кроме того, в работе предложены методические и/или концептуальные решения, которые могут быть использованы для дальнейших научных исследований и практических

разработок. Это подтверждает прикладную направленность полученных результатов и их потенциальную востребованность.

На основании проведенного исследования можно сделать вывод о том, что выдвинутая автором гипотеза получила научное подтверждение. Полученные результаты позволяют утверждать, что предложенный подход является обоснованным и эффективным в рамках рассматриваемой научной проблемы.

Исследование вносит вклад в развитие научного знания за счёт:

- уточнения понятийного и методологического аппарата;
- выявления новых аспектов и зависимостей исследуемого процесса;
- расширения теоретических положений и практических возможностей их применения.

Таким образом, достигнутые результаты подтверждают истинность выдвигаемого утверждения и свидетельствуют об изменении и углублении научного знания в соответствующей области с учётом полученных данных.

Полученные в ходе исследования результаты обладают практической значимостью и могут быть использованы в научно-исследовательской, проектной, образовательной и прикладной деятельности. Разработанные подходы и выводы могут служить основой для совершенствования существующих методик, а также для разработки новых практических решений и рекомендаций.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением исследуемого материала, применением дополнительных методов анализа, а также адаптацией предложенных решений к иным условиям и объектам исследования. Представляется целесообразным продолжение работы в направлении углублённого изучения выявленных закономерностей, а также их экспериментальной и прикладной апробации.

В целом проведенное исследование может рассматриваться как завершённый научный этап, создающий основу для последующих исследований и практической реализации полученных результатов, что подтверждает его научную и прикладную значимость.

ЛИТЕРАТУРА

Чистяков, 1981 — Чистяков В.А., Сурин В.В. Несущая способность сжатых железобетонных колонн с высокопрочной ненапрягаемой арматурой // Прочностные и деформационные характеристики элементов бетонных и железобетонных конструкций. — М.: НИИЖБ. — 1981. — С. 70–80. [Russ.]

Чистяков, 1975 — Чистяков Е.А., Бакиров К.К. Прочность сжатых железобетонных колонн с продольной высокопрочной арматурой и поперечными сварными сетками // Жилищно-гражданское строительство. Экспресс информация КазЦНТИС. — Алма-Ата, 1975. — № 3. — 130 с. [Russ.]

Рискинд, 1982 — Рискинд Б.Я. Применение высокопрочной сжатой арматуры в железобетонных конструкциях // Промышленность сборного железобетона. Серия 3. — М. — 1982. — Вып. 3. — 39 с. [Russ.]

Гамаюнов, 1968 — Гамаюнов Е. И. О величине предельных деформаций бетона при сжатии // Труды ЦНИИС. — М. — 1968. — Вып. 24. — С. 26–39. [Russ.]

Довгалкж, 1975 — Довгалкж В.И., Лепский В.И. Колонны с армированием из высокопрочной стали. Техническое решение. — М.: ЦНИИЭП ТБЗ. — 1975. — 151 с. [Russ.]

Каляскин, 1999 — Каляскин А.В. Сопротивление кратковременному и длительному осевому сжатию гибких железобетонных элементов с высокопрочной арматурой: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 — строительные конструкции, здания и сооружения / ТГТУ. — Тверь. — 1999. — 146 с. [Russ.]

Кхлифи, 1998 — Кхлифи Х.К. Б.С. Кратковременное и длительное сопротивление центрально сжатых колонн средней гибкости с различным содержанием высокопрочной продольной арматурой: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.01 — строительные конструкции, здания и сооружения / ТГТУ. — Тверь. — 1998. — 189 с. [Russ.]

Маилян, 1982 — Маилян Д.Р., Мединский В.П., Азизов А.Г. Прочность железобетонных колонн с высокопрочной предварительно сжатой продольной арматурой // Вопросы расчета железобетона. — Ростов-на-Дону: РИСИ. — 1982. — С. 47–56. [Russ.]

Фролов, 1988 — Фролов А.К., Ким Л.В. Внецентренно сжатые железобетонные колонны с высокопрочной арматурой большого диаметра // Сборник трудов МИСИ. — М. — 1988. — С. 17. [Russ.]

Sheikh, 1982 — Sheikh S., Uzumeri S. Analytical model for concrete confinement in tied columns // Journal of Structural Division. — 1982. — Vol. 108. — ST12. — P. 703–722. [Eng.]

Scott, 1982 — Scott D., Park R., Priestley M. Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates // ACI Journal. — 1982. — Vol. 79. — № 1. — Pp. 13–27. [Eng.]

Онуфриев, 1974 — Онуфриев Н.М., Захаров С.Т. Усиление колонн обоймами с учетом экспериментов // Совершенствование методов расчета и исследование новых типов железобетонных конструкций: сб. — ЛИСИ. — Л. — 1974. — С. 96–103. [Russ.]

Захаров, 2005 — Захаров В.Ф., Узунова Л.В. Опытные и расчетные данные о кратковременном сопротивлении сжатию составных железобетонных стержней // Инновации в науке и образовании – 2005: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 75-летию основания КГТУ и 750-летию Кенигсберга-Калининграда, Калининград, 19–21 октября 2005 г. — Калинингр. гос. техн. ун-т. — Калининград. — 2005. — С. 161–163. [Russ.]

Узунова, 2005 — Узунова Л.В., Захаров В.Ф. Экспериментальное исследование кратковременного сопротивления сжатию составных железобетонных стержней // Эффективные строительные конструкции. Теория и практика: материалы 4-й Междунар. науч.-техн. конф., Пенза, 29–30 ноября 2005 г. — Пензенский гос. ун-т архитектуры и строительства. — Пенза. — 2005. — С. 243–245. [Russ.]

Узунова, 2006 — Узунова Л.В., Захаров В.Ф. Сопротивление кратковременному сжатию составных стержней с высокопрочной арматурой // Инновации в науке и образовании – 2005: материалы Междунар. науч. конф., посвященной 75-летию основания КГТУ и 750-летию Кенигсберга-Калининграда, Калининград, 19–21 октября 2005 г. // Известия КГТУ. — 2006. — № 9. — С. 125–129. [Russ.]

ГОСТ 12004–85, 1985 — ГОСТ 12004–85. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. — М.: Изд-во стандартов. — 1985. — 24 с. [Russ.]

ГОСТ 10180–90, 1990 — ГОСТ 10180–90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. — 1990. — 24 с. [Russ.]

ГОСТ 18105–86, 1987 — ГОСТ 18105–86. Бетоны. Правила контроля прочности. — М.: Гос. строит. комитет. — 1987. — 19 с. [Russ.]

REFERENCES

Chistyakov 1981 — Chistyakov, V.A., Surin, V.V. (1981). Nesushchaya sposobnost' szhatykh zhelezobetonnykh kolonn s vysokoprochnoi nenapryagaemoi armaturoi [Load-bearing capacity of compressed reinforced concrete columns with high-strength non-prestressed reinforcement]. In: Prochnostnye i deformatsionnye kharakteristiki elementov betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksii. Moscow: NIIZhB. — 1981. — Pp. 70–80. [in Russ.]

Chistyakov 1975 — Chistyakov, E.A., Bakirov, K.K. (1975). Prochnost' szhatykh zhelezobetonnykh kolonn s prodol'noi vysokoprochnoi armaturoi i poperechnymi svarnymi setkami [Strength of compressed reinforced concrete columns with longitudinal high-strength reinforcement and transverse welded meshes]. Zhilishchno-grazhdanskoe stroitel'stvo. Ekspres informatsiya KazTsNTIS. Alma-Ata. — 1975. — No. 3. — 130 p. [in Russ.]

Riskind 1982 — Riskind, B.Ya. (1982). Primenenie vysokoprochnoi szhatoi armatury v zhelezobetonnykh konstruksiyakh [Application of high-strength compressed reinforcement in reinforced concrete structures]. Promyshlennost' sbornogo zhelezobetona. — Series 3. — M. — 1982. — Issue 3. — 39 p. [in Russ.]

Gamayunov 1968 — Gamayunov, E.I. (1968). O velichine predel'nykh deformatsii betona pri szhatii [On the value of ultimate concrete strains in compression]. // Trudy TsNIIS. — Moscow. — 1968. — Issue 24. — Pp. 26–39. [in Russ.]

Dovgalkzh 1975 — Dovgalkzh, V.I., Lepskii, V.I. (1975). Kolonny s armirovaniem iz vysokoprochnoi stali. Tekhnicheskoe reshenie [Columns reinforced with high-strength steel. Technical solution]. — M: TsNIIEP TBZ. — 1975. — 151 p. [in Russ.]

Kalyaskin 1999 — Kalyaskin, A.V. (1999). Soprotivlenie kratkovremennomu i dlitel'nomu osevommu szhatiyu gibkikh zhelezobetonnykh elementov s vysokoprochnoi armaturoi [Resistance to short-term and long-term axial compression of slender reinforced concrete elements with high-strength reinforcement]. PhD Thesis. — Tver: TGTU. — 1999. — 146 p. [in Russ.]

Khlifi 1998 — Khlifi, Kh.K.B.S. (1998). Kratkovremennoe i dlitel'noe soprotivlenie tsentral'no szhatykh kolonn srednei gibkosti s razlichnym soderzhaniiem vysokoprochnoi prodol'noi armatury [Short-term and long-term resistance of centrally compressed columns of medium slenderness with different contents of high-strength longitudinal reinforcement]. PhD Thesis. — Tver: TGTU. — 1998. — 189 p. [in Russ.]

Mailyan 1982 — Mailyan, D.R., Medinskii, V.P., Azizov, A.G. (1982). Prochnost' zhelezobetonnykh kolonn s vysokoprochnoi predvaritel'no szhatoi prodol'noi armaturoi [Strength of reinforced concrete columns with high-strength prestressed longitudinal reinforcement]. // In: Voprosy rascheta zhelezobetona. Rostov-on-Don: RISI. — 1982. — Pp. 47–56. [in Russ.]

Frolov 1988 — Frolov, A.K., Kim, L.V. (1988). Vnetsentrenno szhatye zhelezobetonnyye kolonny s vysokoprochnoi armaturoi bol'shogo diametra [Eccentrically compressed reinforced concrete columns with large-diameter high-strength reinforcement]. Sbornik trudov MISI. — M. — 1988. — P. 17. [in Russ.]

Sheikh 1982 — Sheikh, S., Uzumeri, S. (1982). Analytical model for concrete confinement in tied columns. Journal of Structural Division. — 1982. — Vol. 108. — ST12. — Pp. 703–722. [in Eng.]

Scott 1982 — Scott, D., Park, R., Priestley, M. (1982). Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates. ACI Journal. — 1982. — Vol. 79. — No. 1. — Pp. 13–27. [in Eng.]

Onufriev 1974 — Onufriev, N.M., Zakharov, S.T. (1974). Usilenie kolonn oboimami s uchedom eksperimentov [Strengthening of columns with jackets based on experimental data]. In: Sovershenstvovanie metodov rascheta i issledovanie novykh tipov zhelezobetonnykh konstruksii. — Leningrad: LISI. — 1974. — Pp. 96–103. [in Russ.]

Zakharov 2005 — Zakharov, V.F., Uzunova, L.V. (2005). Opytnye i raschetnye dannye o kratkovremennom soprotivlenii szhatiyu sostavnykh zhelezobetonnykh stержней [Experimental and calculated data on short-term compressive resistance of composite reinforced concrete members]. Proceedings of the International Scientific Conference “Innovations in Science and Education – 2005”. — Kaliningrad. — 2005. — Pp. 161–163. [in Russ.]

Uzunova 2005 — Uzunova, L.V., Zakharov, V.F. (2005). Eksperimental'noe issledovanie kratkovremennogo soprotivleniya szhatiyu sostavnykh zhelezobetonnykh stержней [Experimental study of short-term compressive resistance of composite reinforced concrete members]. Proceedings of the 4th International Scientific and Technical Conference “Effective Building Structures. Theory and Practice”. — Penza. — 2005. — Pp. 243–245. [in Russ.]

Uzunova 2006 – Uzunova, L.V., Zakharov, V.F. (2006). Soprotivlenie kratkovremennomu szhatiyu sostavnykh sterzhnei s vysokoprochnoi armaturoi [Short-term compressive resistance of composite members with high-strength reinforcement]. Izvestiya KGTU, no. 9. Pp. 125–129. [in Russ.]

GOST 12004–85 – GOST 12004–85 (1985). Armature steel. Tensile test methods. Moscow: Izdatel'stvo standartov. — 1985. — 24 p. [in Russ.]

GOST 10180–90 – GOST 10180–90 (1990). Concrete. Methods for strength determination using control specimens. — 1990. — 24 p. [in Russ.]

GOST 18105–86 – GOST 18105–86 (1987). Concrete. Rules for strength control. Moscow: State Construction Committee. — 1987. — 19 p. [in Russ.]