

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №4, Том 10 / 2018, No 4, Vol 10 <https://esj.today/issue-4-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/33SAVN418.pdf>

Статья поступила в редакцию 18.06.2018; опубликована 06.08.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Зараковская К.И., Захаров В.Ф. Опытные диаграммы состояния бетона составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой после длительных испытаний // Вестник Евразийской науки, 2018 №4, <https://esj.today/PDF/33SAVN418.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Zarakovskaia K.I., Zakharov V.F. (2018). Experimental stress-strain curves of combined reinforced concrete elements with high tensile reinforcement bars after long-term compression. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 4(10). Available at: <https://esj.today/PDF/33SAVN418.pdf> (in Russian)

УДК 624.012.45

Зараковская Кристина Игоревна

ФГБОУ ВО «Балтийский федеральный университет им. И. Канта», Калининград, Россия
Аспирант
E-mail: n.yushenko@list.ru

Захаров Владимир Федорович

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет», Калининград, Россия
Доктор технических наук, профессор
E-mail: vladimir.f.zakharov@mail.ru

Опытные диаграммы состояния бетона составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой после длительных испытаний

Аннотация. В массовом строительстве железобетон остается наиболее востребованным материалом. Поэтому вопрос использования высокопрочной арматуры в сжатых железобетонных стойках продолжают быть актуальным и настоящее время. Проведенные на сегодняшний день исследования сопротивления железобетонных колонн с высокопрочной арматурой кратковременному и длительному сжатию доказывают эффективность применения последней в данном виде конструкций. К одному из позитивных факторов применения высокопрочной арматуры относится повышение несущей способности стоек, зафиксированное в некоторых исследованиях. Не менее интересным является изучение совместной работы высокопрочной арматуры и бетонов с различными деформационными характеристиками, входящих в состав одного сечения (в составных железобетонных колоннах). С целью исследования сопротивления длительному сжатию составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой были проведены экспериментальные исследования опытных образцов колонн составного сечения средней гибкости с высокопрочной арматурой класса А800. В результате обработки экспериментальных данных были получены диаграммы деформирования (диаграммы состояния) «монолитного» («молодого») и сборного («старого») бетонов, представляющие собой графическое изображение связи между напряжениями и деформациями в бетоне. Данные диаграммы хорошо описывают процессы, происходящие в бетонах, загруженных в разных возрастах, после длительного сжатия. А полученные нисходящие участки кривых деформирования бетона указывают на факт перераспределения усилий с бетона на высокопрочную арматуру, что, в конечном счете, оказывает влияние на повышение несущей способности сжатых стержней с высокопрочной арматурой.

Ключевые слова: бетон; железобетон; высокопрочная арматура; длительное сжатие; ползучесть; напряжения; деформации; перераспределение усилий; сжатые колонны; напряженно-деформированное состояние сечений; диаграмма деформирования бетона

В настоящий момент времени действующие нормативные документы в области проектирования и расчета бетонных и железобетонных как в нашей стране, так и за рубежом¹ предлагают аналитические методы расчета железобетонных стержней, большинство из них ориентируются на различные диаграммы деформирования бетона и арматуры, каждая из которых в различной степени по надежности описывают поведение бетона и различный уровень сложности решения практических задач.

Для более точного расчета параметров напряженно-деформированного состояния (НДС) нормальных сечений железобетонных элементов и понимания процессов, происходящих в конструкциях в течение их эксплуатации, необходимо использовать диаграммы состояния бетона. Ранее в работах отечественных исследователей [1, 2, 5-11], посвященных использованию высокопрочной арматуры в сжатых железобетонных стержнях, были получены диаграммы деформирования бетона, в том числе и с нисходящей ветвью, что говорит о перераспределении усилий с высокопрочной арматуры на бетон. Однако до сих пор в научной среде не было представлено диаграмм состояния бетонов с разными деформационными характеристиками, входящих в состав одного сечения, работающих совместно с высокопрочной арматурой, при длительном действии сжимающей нагрузки. Этому и посвящена настоящая статья.

Ранее в статье [4] были описаны эксперименты по изучению сопротивления длительному сжатию составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой. Вопрос использования высокопрочной арматуры в сжатых железобетонных сечениях актуален и в настоящее время, так как железобетон был и остается одним из самых востребованных строительных материалов. Данное исследование позволило получить опытные данные, доказывающие эффективность использования высокопрочной арматуры в длительно сжатых железобетонных элементах составного сечения средней гибкости. При этом в состав сечения входили ранее уложенный «сборный» бетон (ветвь 1) и «монолитный» бетон (ветвь 2), разрыв в бетонировании оставил в среднем 135 суток.

С целью исследования процессов, происходящих в «сборном» и «монолитном» бетоне, при нагружении до разрушения после длительных испытаний по опытным данным были построены диаграммы состояния «сборного» (ветвь «1») и «монолитного» (ветвь «2») бетонов " $\sigma_b - \varepsilon_b$ ", деформирующихся совместно с высокопрочной арматурой (σ_b – напряжения в бетоне при текущих значениях деформации бетона ε_b). Диаграммы приведены для центрально сжатых образцов КС-I-5, КС-I-6, КС-II-9, КС-II-10 на рисунках 1.1-1.4. Стоит заметить, что диаграммы деформирования для «монолитного» и «сборного» бетонов железобетонных колонн

¹ ACI Committee 318. Building code requirements for structural concrete (ACI 318-11) and commentary. Farmington Hills (MI): American Concrete Institute; 2011.

EN 1992-1-1:2005. Eurocode 2: Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings. CEN.

Fib (2012a): Model Code 2010 Final draft, Volume 1. Fédération Internationale du Béton Lausanne, Switzerland, 2012.

СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 М., ГУП НИИЖБ Госстроя России, 2012 г., – 155 с.

составного сечения средней гибкости, которые подвергались длительному сжатию, были получены впервые, это и составляет научную новизну исследования.

Деформации бетона ϵ_b на уровне арматуры были приняты как средние деформации высокопрочной арматуры ϵ_s (данные электротензодатчиков). По экспериментальной диаграмме состояния высокопрочной арматуры с помощью данных ϵ_s были получены значения напряжений в арматуре σ_s , по которым были найдены усилия N_s , которые она воспринимает. Усилия, воспринимаемые бетоном каждой ветви, были рассчитаны из условия равновесия для внутренних и внешних сил, с учетом напряжений обратного знака, которые накладываются на напряжения в бетоне и арматуре при мгновенной разгрузке образцов. Напряжения в бетоне ветвей «1» и «2» рассчитывались по известным формулам из теории сопротивления материалов, которые учитывали развитие прогиба образца в течение испытания и упруго-пластичные свойства бетона.

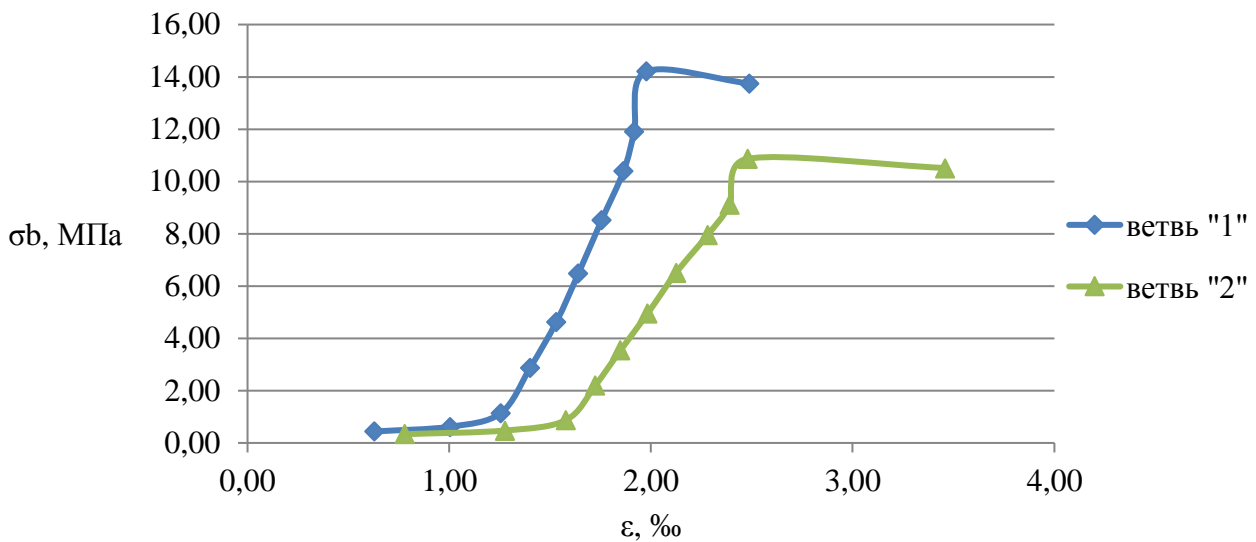


Рисунок 1. Диаграммы деформирования бетона ветвей «1» и «2» соответственно для образца КС-I-5: ◆ – ветвь 1; ▲ – ветвь 2 (разработано автором)

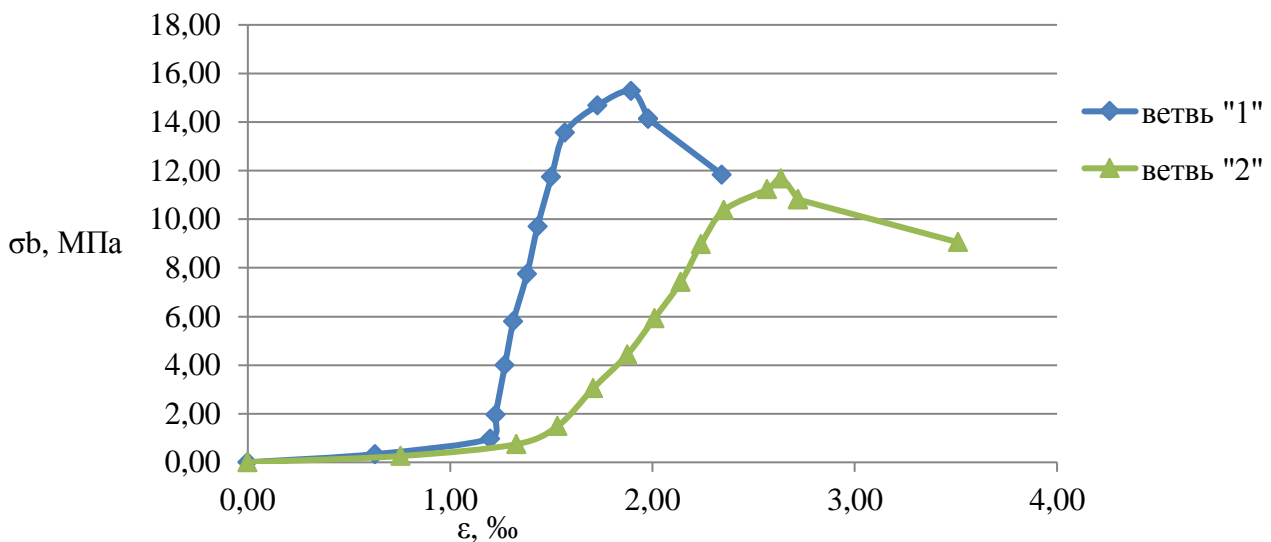


Рисунок 2. Диаграммы деформирования бетона ветвей «1» и «2» соответственно для образца КС-I-6: ◆ – ветвь 1; ▲ – ветвь 2 (разработано автором)

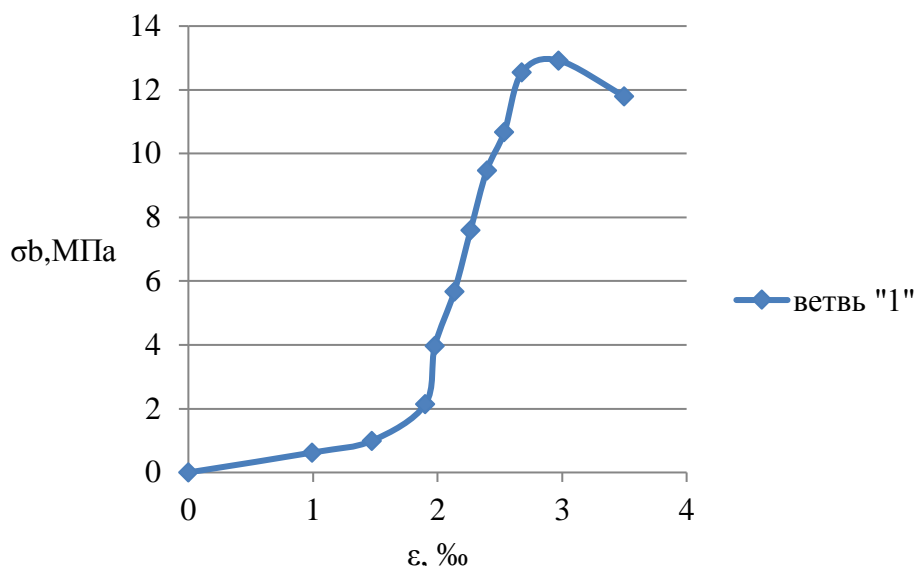


Рисунок 3. Диаграмма деформирования бетона ветви «1» для образца КС-II-9 (разработано автором)

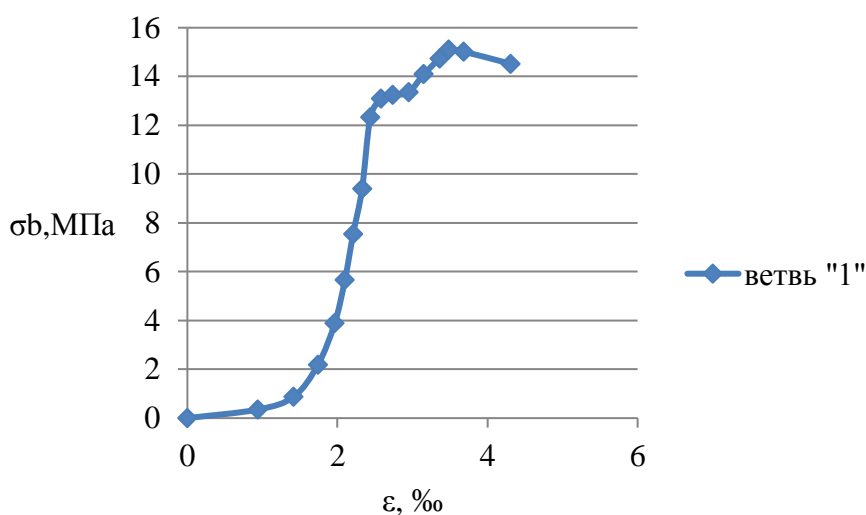


Рисунок 4. Диаграмма деформирования бетона ветви «1» для образца КС-II-10 (разработано автором)

Как видно из рисунков 1-4 начальный участок диаграмм деформирования бетона обеих ветвей пологий до уровней нагружения, равных приблизительно 29 % – 38 % от разрушающей нагрузки. Это связано с режимом нагружения: после длительной выдержки образцы почти полностью разгрузались, в результате чего в бетоне развивались напряжения обратного знака, т. е. растяжение. По данным расчета эти напряжения оказались выше предела прочности бетона на растяжение R_{bt} , вычисленные по формуле Фере, таким образом, после разгрузки после выдержки должны были появиться трещины, что и наблюдалось в действительности. При повторном нагружении с доведением до разрушения образцов трещины закрывались, после чего бетон снова начинал работать на сжатие.

Для всех диаграмм деформирования бетона обеих ветвей «1» и «2» характерно наличие нисходящего участка. После достижения максимальных напряжений при деформациях бетона в пределах 1,94 ‰ – 3,48 ‰ при дальнейшем увеличении нагрузки напряжения в бетоне резко

падают вследствие перераспределения усилий с бетона на высокопрочную арматуру. При этом в стадии, близкой к разрушению, деформации образцов колонн начинают существенно увеличиваться при незначительном росте внешней нагрузки. Таким образом, при нагрузке, приблизительно равной 87-97 % от разрушающей, происходит неконтролируемый, иначе говоря, лавинообразный процесс нарастания деформаций. Наибольшие деформации сжатия для бетона ветви «1» составили 2,34-4,31 ‰, для бетона ветви «2» – 2,31-3,51 ‰. Стоит заметить, что вычисленные максимальные напряжения оказались больше призмочной прочности бетона. Это можно объяснить тем, что по сути диаграммы состояния приведены для бетона, деформирующегося совместно с арматурой при эпюре напряжений, близкой к треугольнику. Другими словами, деформации сжатого бетона развивались вплоть до разрушения в стесненных условиях.

Кроме того, по приведенным выше диаграммам « $\sigma_b - \epsilon_b$ » можно судить об особенностях деформирования «сборного» и «монолитного» бетона в каждом отдельном случае. Так для центрально сжатых образцов колонн серии 1 (КС-I-5, КС-I-6) характерно то, что «сборный» бетон был более сжат при меньших по сравнению с бетоном ветви «2» деформациях. В центрально сжатых образцах серии 2 (КС-II-9 и КС-II-10) наиболее сжатая грань образца пришлась только на ветвь «1», соответственно, поэтому для данных образцов была приведена только диаграмма состояния бетона ветви «1».

Таким образом, по приведенным выше диаграммам состояния бетона, полученным по экспериментальным данным исследования [4], можно судить о процессах, происходящих в бетоне, работающем совместно с высокопрочной арматурой, при длительном действии сжимающей нагрузки. Нисходящий участок диаграмм деформирования бетона указывает на процесс перераспределения усилий с бетона на высокопрочную арматуру, в конечном итоге данный процесс сказался на увеличении несущей способности железобетонных стержней составного сечения с высокопрочной арматурой. Кроме того, данному процессу способствуют деформации ползучести «сборного» и «монолитного» бетонов [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Аль Абед Ахмад. Несущая способность железобетонных внецентренно сжатых элементов средней гибкости с высокопрочной продольной арматурой: дисс. ... канд.техн.наук: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / Аль Абед Ахмад. – Тверь, 1997. – 167 с.
2. Аутоум Т. Исследование влияния различных режимов нагружения на напряженно-деформированное состояние и несущую способность железобетонных колонн с арматурой класса Ат-VI: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / Т. Аутоум. – Тверь, 1994. – 202 с.
3. Зараковская К.И., Захаров В.Ф. Влияние ползучести бетона на сопротивление длительному сжатию составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой / К.И. Зараковская, В.Ф. Захаров // Международная научная конференция «Актуальные проблемы прочности». 14-18 мая 2018 г., Витебск: сб. материалов. – Витебск, 2018.
4. Зараковская К.И., Захаров В.Ф. Опытное исследование длительного сопротивления составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой / К.И. Зараковская, В.Ф. Захаров // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 2. – С. 227-231.
5. Захаров В.Ф. Несущая способность сжатых железобетонных стержней. Предельная эксплуатационная нагрузка / В.Ф. Захаров, Т.Р., Баркая, А.В. Каляскин // Сборник научных трудов инженеров строительного факультета / ТГТУ. – Тверь, – 1998. – вып.1. – с. 31-33.
6. Захаров В.Ф. Несущая способность и деформации гибких железобетонных стоек при кратковременном нагружении / В.Ф. Захаров, П. Матар. – Тверь: ТвПИ, – 1994. – 4 с. деп. В ВИНТИ № 502.
7. Захаров В.Ф. Сопротивление железобетонных стержней длительному сжатию: дисс. ... докт.техн.наук: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / Захаров В.Ф. – Тверь, 1995. – 516 с.
8. Каляскин А.В. Сопротивление длительному и осевому сжатию гибких железобетонных элементов с высокопрочной арматурой: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / А.В. Каляскин. – Тверь, 1999. – 146 с.
9. Кхлифи Х. Кратковременное и длительное сопротивление центрально-сжатых колонн средней гибкости с различным содержанием высокопрочной продольной арматуры: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / Х. Кхлифи. – Тверь, 1998. – 190 с.
10. Матар П. Исследование возможности применения высокопрочной арматуры в гибких железобетонных колоннах: дисс. ... канд.техн.наук: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / П. Матар. – Тверь, 1992. – 227 с.
11. Узунова Л.В. Сопротивление кратковременному сжатию составных железобетонных стержней с высокопрочной арматурой: дисс. ... канд.техн.наук: 05.23.01 – строительные конструкции, здания и сооружения / Л.В. Узунова. – Калининград, 2010. – 144 с.

Zarakovskaia Kristina Igorevna

Immanuel Kant Baltic federal university, Kaliningrad, Russia
E-mail: n.yushenko@list.ru

Zakharov Vladimir Fedorovich

Kaliningrad state technical university, Kaliningrad, Russia
E-mail: vladimir.f.zakharov@mail.ru

Experimental stress-strain curves of combined reinforced concrete elements with high tensile reinforcement bars after long-term compression

Abstract. Reinforcement concrete still remains the most popular material in mass design and construction. That's why nowadays the question of the application of high tensile reinforcement bars in compression reinforced concrete elements continues to be relevant. Studies of the resistance to short-term and long-term compression of the reinforced concrete elements with high tensile reinforcement bars that have been undertaken for today approve the efficiency and expediency of the application of high tensile reinforcement bars in such elements. One of the positive factors of the application of high tensile reinforcement bars is increasing of load-bearing capacity of this elements, indicated in undertaken researches. Not less interesting question is study joint work of high tensile reinforcement bars and concrete with different deformation properties that combine one section (in combined reinforced concrete elements). To research the resistance to long-term compression of the combined reinforced concrete elements with high tensile reinforcement bars there have been carried out experimental research of medium flexible combined section column specimens with high tensile reinforcement bars A800. As result of experimental data processing there have been received stress-strain diagrams (condition diagrams) of «monolithic» («young») and «precast» («old») concretes that represents graphic picture of the connection of stress and strain of concrete. This diagrams describes processes in concretes, loaded in different ages, after long-term compression. And obtained softening branches of concrete deformation curves point to the fact that there is redistribution of efforts from concrete to high tensile reinforcement bars, it effects on increasing of the load-bearing capacity of compressive elements with high tensile reinforcement bars.

Keywords: concrete; reinforced concrete; high tensile reinforcement bars; long-term compression; creep; tension; deformations; redistribution of efforts; compression columns; tensely deformed condition (TDC) of cross-sections; stress-strain diagrams of concrete