

УДК 624.0.12.464.3

ПРОЧНОСТЬ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

А.Д. Журавский¹, Е.В. Куцик²

¹Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Украина

²Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича, Украина

e-mail: azhur@ua.fm¹, kutsikolena@gmail.com²

Приведенные результаты экспериментальных исследований прочности и трещиностойкости железобетонных балок из высокопрочного бетона и выполнено сравнение их с балками из обычного бетона.

Ключевые слова: прочность, трещиностойкость, прогибы, высокопрочный бетон.

STRENGTH AND CRACKING OF REINFORCED CONCRETE BEAMS FROM HIGH-STRENGTH CONCRETE

O. Zhuravskyi¹, O. Kytsyk²

¹Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

²Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovich, Ukraine

e-mail: azhur@ua.fm¹, kutsikolena@gmail.com²

The results of experimental studies of durability and crack resistance of reinforced concrete beams from high-strength concrete are presented and compared with ordinary concrete beams.

Keywords: strength, crack resistance, deflection, high strength concrete.

Современное строительство требует использования высокопрочного бетона, который позволяет уменьшить сечения конструктивных элементов и тем самым уменьшить их вес, увеличить несущую способность и пролеты конструкций.

Для проведения экспериментальных исследований были использованы три серии образцов-балок (по четыре в каждой серии). Балки длиной 1200 мм и сечением 100x50 мм армировались в растянутой зоне двумя стержнями $\varnothing 12A400$, а в сжатой зоне одним стержнем $\varnothing 5Bp-I$ (рис. 1). Поперечная арматура $\varnothing 5Bp-I$, которая установлена с шагом 50 мм в приопорных зонах длиной 400 мм.

Опытные образцы изготавливались из бетона, в состав которого входят: гранитный щебень (фракция 5...10 и 10...20 мм), кварцевый песок (модуль крупности 0,95 мм), цемент марки М500, добавка метакаолин и гиперпластификатор (STACHEMENT 2597), вода (В/Ц=0,32). Состав бетона каждой серии отличается количеством цемента, метакаолина и водоцементного соотношения. Характеристики бетона опытных балок приведены в таблице 1.

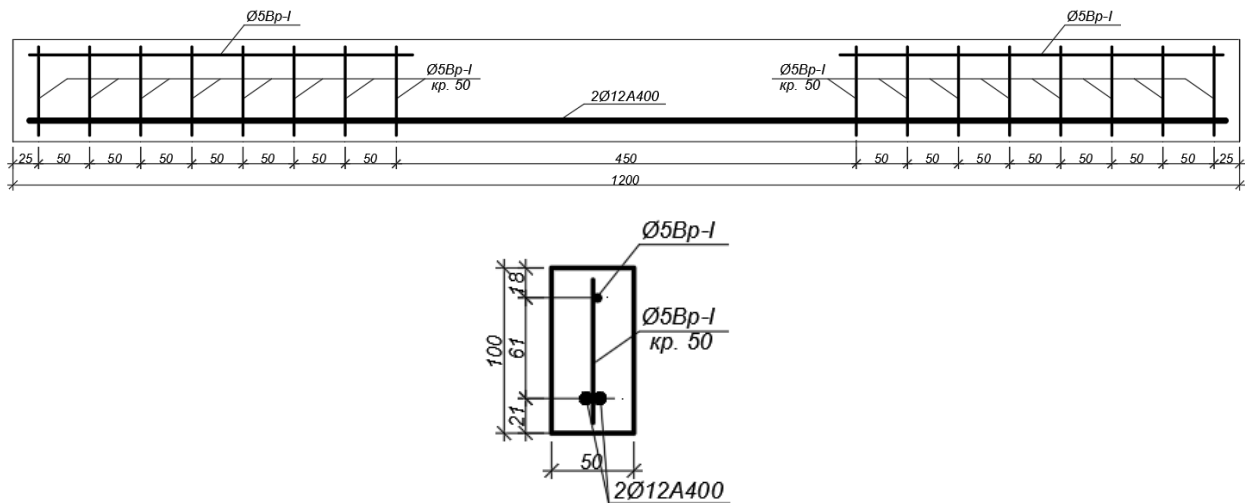


Рисунок 1. – Схема армирования опытных балок

Таблица 1. – Характеристики бетона

Серия	Кубиковая прочность $f_{ck,cube}$, МПа	Призмовая прочность $f_{ck,prism}$, МПа	Начальный модуль упругости $E_c \times 10^{-3}$, МПа
Б-I	31,45	22,86	26,47
Б-II	79,50	71,14	37,42
Б-III	85,05	79,51	42,83

Балки опирались на две опоры с пролетом 1000 мм и загружались двумя сосредоточенными силами, которые расположены на расстоянии 333 мм от опор (рис. 2 и 3). На каждой степени загрузки измерялись прогибы балки с помощью индикатора часового типа I-1 с ценой деления 0,01 мм. Деформации бетона в сжатой и растянутой зонах измерялись индикаторами часового типа I-2 ... I-5 ценой деления 0,001 мм на базе 200 мм и тензорезисторами T-5...T-14 на базе 50 мм. Деформации арматурных стержней измерялись тензорезисторами T-1...T-4 на базе 20 мм. Ширину раскрытия трещин измеряли с помощью микроскопа Бринеля с ценой деления 0,05 мм. Нагрузка прикладывалась с помощью гидравлического домкрата через систему тяг и траверс, а значение силы P_1 определялась с помощью динамометра камертонного типа, который был установлен на одной из опор (рис. 2 и 3).

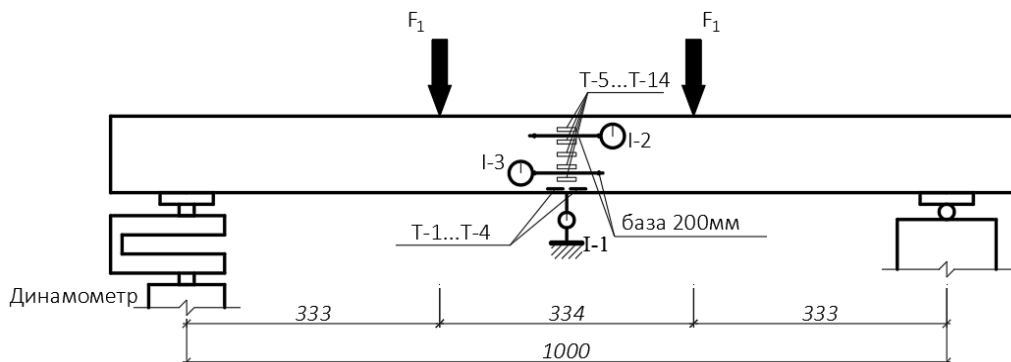


Рисунок 2. – Схема испытания опытных балок



Рисунок 3. – Стенд для испытания опытных балок

В результате испытания опытных балок полученные значения нагрузок $F_{cr,1}$, при которых появились нормальные трещины и нагрузок $F_{u,1}$, при которых разрушились балки. Значение этих нагрузок для каждой балки и среднее их значение для каждой серии приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты экспериментальных исследований балок

Серия	Марка балки	Нагрузка трещинообразования $F_{cr,1}$, кН		Разрушающая нагрузка $F_{u,1}$, кН	
		одного образца	среднее	одного образца	среднее
Б-I	Б-I-1	8,1	7,3	13,5	10,75
	Б-I-2	6,0		10,0	
	Б-I-3	6,2		10,0	
	Б-I-4	8,9		9,5	
Б-II	Б-II-1	6,7	6,4	11,5	11,05
	Б-II-2	6,0		11,0	
	Б-II-3	6,1		10,8	
	Б-II-4	6,8		10,9	
Б-III	Б-III-1	4,6	5,1	11,5	13,03
	Б-III-2	5,1		13,5	
	Б-III-3	5,9		12,9	
	Б-III-4	4,8		14,2	

Анализ результатов испытаний показал, что трещины в балках из высокопрочного бетона (серия Б-III) появились раньше, чем в балках серии Б-II и Б-I, то есть в среднем

при $F_{cr,1} = 5,1$ кН. Это на 19,6% меньше трещиностойкости балок серии Б-II ($F_{cr,1} = 6,4$ кН) и на 31,0% меньше трещиностойкости балок серии Б-I ($F_{cr,1} = 7,3$ кН).

Анализ разрушающих нагрузок показал совершенно противоположные значения наименьшие значения были в балках серии Б-I, то есть $F_{u,1} = 10,75$ кН. Это на 2,7% меньше прочности балок серии Б-II ($F_{u,1} = 11,05$ кН) и на 17,5% меньше прочности балок серии Б-III ($F_{u,1} = 13,03$ кН).

Общий вид балок после испытания и характер трещинообразований показано на рис. 4...6. Трещинообразования и характер разрушения балок серии Б-I происходило по обычной схеме - возникновение нормальных трещин в растянутой зоне сечения, их развитие при увеличении нагрузки, разрушения балок вследствие достижения деформаций текучести растянутой арматуры и разрушения сжатой зоны бетона (рис. 4). Разрушение имели пластический характер. Трещинообразования и разрушения балок серий Б-II и Б-III имели несколько иной характер (рис. 5, 6). Возникновение трещин началось раньше чем в балках серии Б-I. Однако их развитие и раскрытие не был таким интенсивным как в балках серии Б-I. При разрушении балок высота сжатой зоны была значительно больше чем в балках серии Б-I. Причем возникали горизонтальные трещины, которые разделяли растянутую и сжатую зоны бетона.

Для определения несущей способности опытных балок используем зависимость [7]:

$$M_u = x_1 \cdot q_c (d - x_1 \cdot k_\lambda). \quad (1)$$

где x_1 - высота сжатой зоны бетона; q_c - усредненное равномерно-распределенное усилие в жатой зоне бетона; $d = h - a$ - рабочая высота сечения; k_λ коэффициент, который определяется

$$k_\lambda = \frac{1 + \lambda(1 + \lambda)}{3(1 + \lambda)}; \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\varepsilon_{cu3,cd} - \varepsilon_{c3,cd}}{\varepsilon_{cu3,cd}}, \quad (3)$$

где: $\varepsilon_{cu3,cd}$ и $\varepsilon_{c3,cd}$ - предельные относительные деформации бетона при сжатии [2, 3].

Высота сжатой зоны бетона x_1 определяется [7]:

$$x_1 = \frac{f_{yd} \cdot A_s}{q_c}, \quad (4)$$

где f_{yd} - расчетное сопротивление арматуры; A_s - площадь поперечного сечения растянутой арматуры.

Усредненное равномерно-распределенное усилие в жатой зоне бетона q_c определяется [7]:

$$q_c = 0,5f_{cd}b(1 + \lambda), \quad (5)$$

где b - ширина сечения балки.

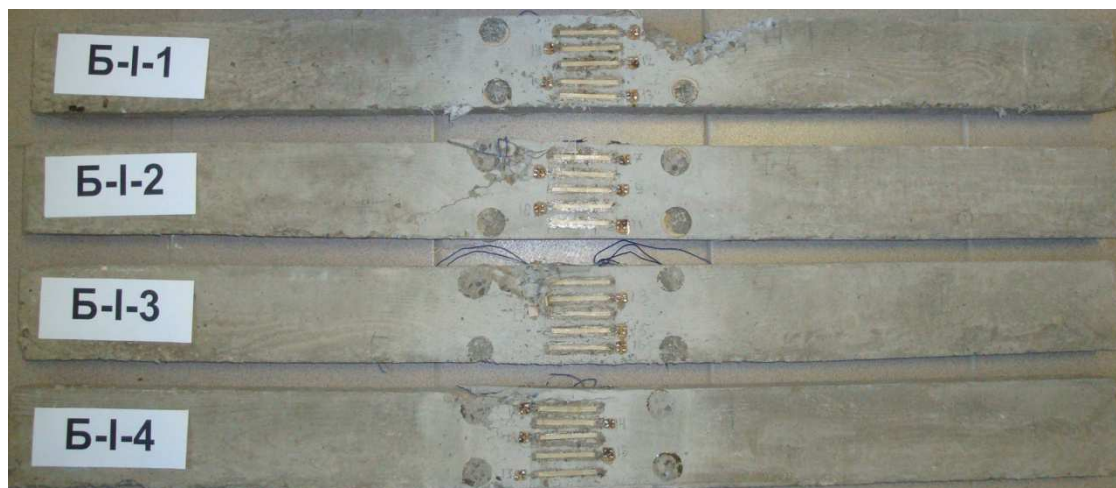


Рисунок 4. – Балки серии Б-I после испытания

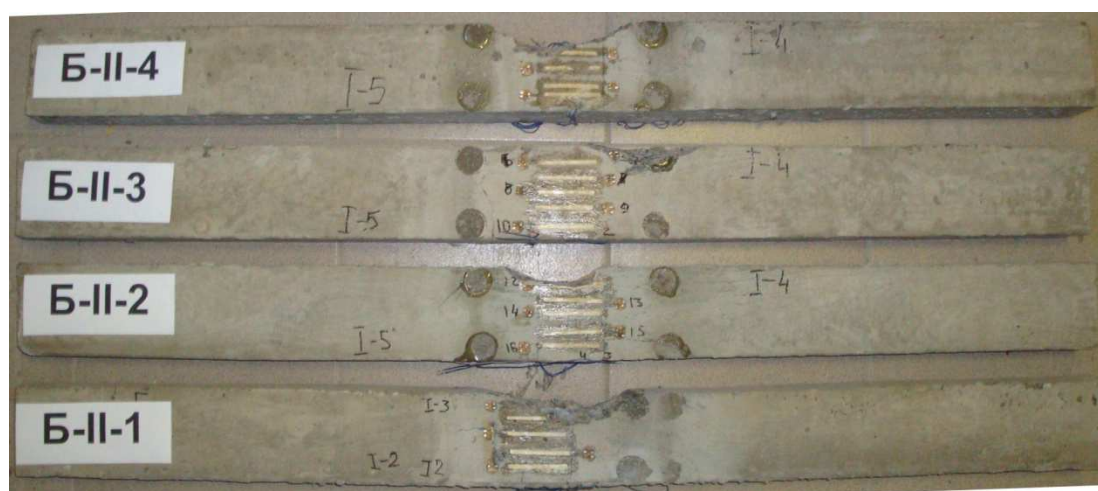


Рисунок 5. – Балки серии Б-II после испытания



Рисунок 6. – Балки серии Б-III после испытания

Сравнение экспериментальных и теоретических значений несущей способности опытных балок сведено в табл. 3.

Таблица 3. – Несущая способность балок

Серия	Экспериментальная M_{ue} , кНм	Теоретическая M_{ut} , кНм	Разница, %
Б-I	3,58	3,26	8,9
Б-II	3,68	3,34	9,2
Б-III	4,34	4,11	5,3

При сравнении экспериментальных и теоретических значений несущей способности балок из обычного и высокопрочного бетонов получена достаточная сходимость данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берг, О.Я., Щербаков, Е.Н., Писанко, Г.Н. Высокопрочный бетон. – М.: Стройиздат, 1971. – 196 с.
2. Конструкції будівель та споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення: ДБН В.2.6.-98:2009
3. Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування: ДСТУ Б В.2.6.-156:2010.
4. EN 1992-1-1-2004: Eurocode 2: Design of concrete structures. – Part 1-1: General rules and rules for buildings.
5. ACI 318-95. Building Code Requirements for Structural Concrete.
6. Куцик, О.В., Журавський, О.Д., Аналіз використання високоміцного бетону у сучасному будівництві // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА. – Вип. 61., 2016, С.444-449.
7. Войцехівський, О.В., Журавський, О.Д., Байда, Д.М. Розрахунок залізобетонних конструкцій з використанням спрощених діаграм деформування матеріалів (за ДСТУ Б.В.2.6-156:2010). Частина 1. Розрахунок за I групою граничних станів // Навчальний посібник. -К.: КНУБА, 2017. – 168 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2020

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Редакционная коллегия:

Л. М. Парфенова (председатель),
А. С. Катульская (отв. секретарь), Е. Д. Лазовский,
Н. В. Давыденко, Р. М. Платонова

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электронный сборник статей II международной научной конференции, Новополоцк, 28–29 нояб. 2019 г. / Полоцкий государственный университет ; под ред. Л. М. Парфеновой. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-701-3.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379.

ISBN 978-985-531-701-3

@Полоцкий государственный университет, 2020

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
II МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 28–29 ноября 2019 г.)

Технический редактор *Т. А. Дарьянова.*

Компьютерная верстка *Т. А. Дарьяновой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.09.2020.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>