

УДК. 624.016:624.046.2

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.30120

ПРОЧНОСТЬ НОРМАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ ДВУХСЛОЙНЫХ КАУТОНО-БЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

О. Л. Фиговский

Кандидат технических наук, директор по науке и развитию
Международный нанотехнологический
исследовательский центр Polymate
South Industrial Area, POB 73, Migdal Haemek, Israel, 23100

Ю. Б. Потапов

Доктор технических наук, профессор*
E-mail: potapov@vgasu.vrn.ru

А. Э. Поликутин

Кандидат технических наук, доцент*
E-mail: a.pl@mail.ru

З. Ф. Нгуен

Кандидат технических наук
Заместитель начальника Департамента науки и
международного сотрудничества
Центральный строительный университет (Вьетнам)
ул. Нгуен Зу, 24, пров. Фуйен, г. Туйхоа, Вьетнам
E-mail: nguynphanduy@cuc.edu.vn
*Кафедра строительных конструкций, оснований и
фундаментов имени профессора Ю. М. Борисова
Воронежский государственный
архитектурно-строительный университет
ул. 20-лет Октября, 84, г. Воронеж, Россия, 394006

Робота присвячена дослідженню міцності нормальних перерізів двошарових каутоно-бетонних балок. Двошарові каутоно-бетонні конструкції призначені для підвищення надійності та довговічності будівель і споруд, в яких присутні агресивний вплив. Експериментальні дослідження проводили на балках з різними товщинами шарів каутона і цементного бетону, а також відсотком поздовжнього армування. Метою досліджень є виявлення ефекту поєднання даних матеріалів в будівельних конструкціях

Ключові слова: міцність, вигин, двошарові конструкції, полібутадієновими олігомери, каучуковий бетон, каутон

Работа посвящена исследованию прочности нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных балок. Актуальность исследований обусловлена необходимостью повышения эксплуатационных качеств строительных конструкций, в том числе эксплуатирующихся в агрессивных средах. Экспериментальные исследования проводили на балках с разными толщинами слоев каутона и цементного бетона, а также процентом продольного армирования. В результате исследований установлена степень влияния слоя каутона на несущую способность балок

Ключевые слова: прочность, изгиб, двухслойные конструкции, полибутадиеновые олигомеры, каучуковый бетон, каутон

1. Введение

Многолетний опыт эксплуатации зданий и сооружений, в которых присутствуют агрессивные воздействия, показал, что использование незащищенных железобетонных и стальных конструкций требует частых и регулярных капитальных ремонтов (рис. 1). Использование конструкций с защитными покрытиями отодвигает сроки капитальных ремонтов, но само покрытие требует проведения восстановительных работ.

В связи с этим одна из актуальных задач развития строительства, особенно в условиях действия агрессивных сред, связана с разработкой новых материалов и внедрением эффективных строительных конструкций. В настоящее время в строительной отрасли ведутся разработки, направленные на снижение удельного веса несущих конструкций, материалоэкономности, стоимости и трудоемкости строительства, повышение несущей способности, трещиностойкости, долговечности конструкций,

улучшение архитектурных и эксплуатационных качеств зданий и сооружений. Одним из направлений развития несущих конструкций является создание слоистых конструкций. В настоящее время в строительстве большое распространение получили слоистые конструкции, в которых рационально объединяются для совместной работы материалы, обладающие разными физико-механическими и химическими свойствами.

В зависимости от формы поперечного сечения, материала и характера работы существует большое разнообразие комбинационных возможностей состава слоистых конструкций. На рис. 2 представлены некоторые типы многослойных элементов.

Слоистые железобетонные конструкции по характеру расположения слоев и виду воспринимаемых воздействий разделяются на:

– конструкции с вертикальным расположением слоев – это стеновые панели, работающие на изгиб в плоскости действия нагрузки и из плоскости;

– конструкции с горизонтальным расположением слоев – это комплексные плиты покрытий или перекрытий, работающие на изгиб, которые проектируются как несущие конструкции;

– конструкции коробчатого сечения с пластиковой армосистемой и защитным слоем из полимербетонов. Это ригели, колонны и балки, работающие на все виды нагрузок. Данные конструкции проектируются как химически стойкие конструкции, работающие в тяжелых условиях нагружения и под действием агрессивной среды.



a



б

Рис. 1. Разрушение строительных конструкций в результате коррозии, вызванной воздействием агрессивных сред: *a* – железобетонных; *б* – стальных

Широкое применение нашли многослойные железобетонные стеновые панели, плиты покрытия и усиленные покрытием конструкции, наиболее экономичные в районах с низкими расчетными температурами, в промышленных и сельскохозяйственных зданиях с повышенной влажностью и агрессивными средами, в зданиях холодильников, плодоовощехранилищ и ряде других случаев. Имеется опыт применения многослойных конструкций с теплоизоляционным слоем из легких бетонов. Их несущие слои изготавливают в основном из тяжелых или конструктивных легких бетонов классов по прочности на сжатие В15 или выше, а утепляющие – из конструктивно-теплоизоляционных классов В1.0...В3.5, таких как керамзитобетон, крупнопористый бетон, перлитобетон, арболит и др.

В большинстве случаев комплексные плиты покрытий представляют собой двухслойную конструкцию, в которой нижний несущий слой выполняется из тяжелого или легкого конструктивного бетона, а

верхний тепло- и звукоизоляционный слой из легкого бетона низкой плотности. Известные комплексные стеновые панели чаще всего представлены различными вариантами трехслойных конструкций, состоящих из двух внешних железобетонных слоев, соединенных гибкими металлическими связями или жесткими бетонными ребрами промежуточного слоя из теплоизоляционного материала.

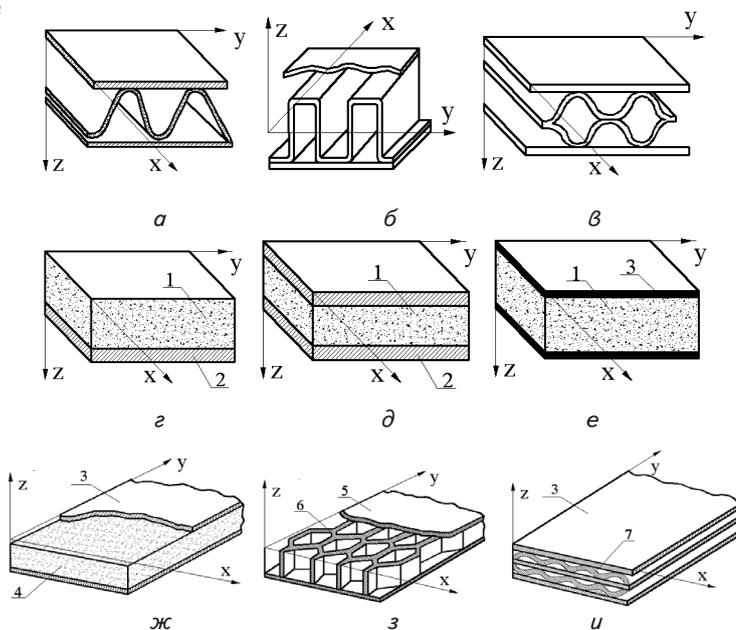


Рис. 2. Типы многослойных элементов: *a, б, в* – тип гофрированный, коробчатый, усиленный гофровым; *г, д, е* – двухслойный и трехслойный; *ж, з* – панель соответственно трехслойная плоская и многослойная; *и* – трехслойная пластина; 1 – легкий бетон; 2 – тяжелый бетон; 3 – обшивка из металла; 4 – пенопласт; 5 – композит; 6 – соты из металла; 7 – гофрированная сталь

Основные свойства слоистых железобетонных конструкций:

- возможность подбора материалов слоев с учетом эффективного использования их главных функциональных качеств;
- снижение стоимости и расхода цемента;
- облегчение веса конструкций и здания в целом;
- возможность использования конструкций с покрытием из полимербетонов в ряде случаев, когда нет возможности использования традиционных конструкций.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Из практики эксплуатации железобетонных конструкций известно, что железобетонные конструкции на цементном вяжущем слишком тяжелы, проницаемы для жидкостей и газов, не стойки против воздействия многих химически агрессивных сред, плохо сопротивляются абразивному гидроизносу. Сложный комплекс воздействий нагрузки, низкой температуры, химической агрессии может в течение короткого срока вывести их из строя. Это снижает возможность применения железобетонных конструкций в ряде случаев, особенно

в местах, где воздействуют агрессивные среды. В связи с этим с целью повышения надежности, долговечности, эксплуатационной пригодности в настоящее время все большее место в строительных конструкциях занимают композиционные материалы [1, 2]. Наиболее известными высокопрочными химически стойкими бетонами в настоящее время являются полимербетоны, в которых в качестве вяжущих используются синтетические смолы. Одним из таких современных бетонов является полученный на основе жидких каучуков – каучуковый бетон (или сокращенно кауто́н). На настоящее время проведены достаточно обширные исследования, направленные на изучение свойств каутона. Среди них необходимо выделить наиболее фундаментальные, а именно исследования, направленные на изучение свойств каучуково-бетона [3, 4]. Кауто́н обладает благоприятными физико-механическими характеристиками (высокой прочностью, трещиностойкостью), высокой химической стойкостью и может наряду с эффективными видами полимербетонов занять свое место при решении проблемы защиты от коррозии различных изделий и конструкций, работающих в условиях воздействия агрессивных сред. В работах [5, 6] представлены результаты исследования каучукового бетона с использованием фибрового армирования. В работе [7] представлены результаты исследования каучукового бетона на температурные воздействия. В работе [8] представлены результаты экспериментальных исследований износостойкости, а в работе [9] – влияния защитного покрытия из каутона на трещиностойкость железобетонных изгибаемых элементов.

В слоистых конструкциях из бетона и каутона эффективно используются наиболее ценные свойства и преимущества каждого из материалов. Бетон хорошо работает на сжатие, кауто́н же имеет высокую прочность и на сжатие, и на растяжение. Кроме того, применение покрытия из каутона для железобетонных конструкций дает возможность изолировать арматуру от агрессивного воздействия среды.

Таким образом, исследование работы комбинированных слоистых элементов строительных конструкций, состоящих из бетона и каутона, является актуальным и имеет практическое значение. Решение поставленных задач даст возможность разработать способы расчета слоистых изгибаемых элементов из каутона и бетона, повысить эффективность и надежность несущих строительных конструкций.

Начальный этап экспериментальных исследований двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых конструкций, а именно результаты изучения напряженно-деформированного состояния нормального сечения, представлены в работе [10].

Сочетание таких материалов как цементный бетон и каучуковый бетон в изгибаемых строительных конструкциях ранее в мировой практике не применялось.

Данные исследования были выполнены с использованием приборов и контрольно-измерительной аппаратуры центра коллективного пользования имени профессора Ю. М. Борисова Воронежского государственного архитектурно-строительного университета (Россия) в рамках государственного задания по теме: "Научное обоснование, разработка и реализация технологии эффективных композиционных материалов

из минерального и полимерного сырья и разработка на их основе конструкций специального назначения".

3. Цель и задачи исследований

Целью настоящих экспериментальных исследований является изучение прочности нормального к продольной оси сечения разработанных двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых элементов строительных конструкций с каутоном в растянутой зоне.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сравнить работу двухслойных каутоно-бетонных с однослойными железобетонными балками;
- установить количественное влияние продольного армирования на прочность нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых конструкций;
- установить количественное влияние толщины слоя каутона на прочность нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых конструкций;
- выявить характер разрушения двухслойных каутоно-бетонных балок по нормальному сечению.
- установить наличие или отсутствие нарушения совместной работы бетона и каутона в двухслойных балках.

4. Методика проведения экспериментальных исследований прочности нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных балок

Для достижения поставленной цели были изготовлены четыре серии двухслойных каутоно-бетонных балок и одна серия однослойных железобетонных балок. Схема испытания, армирования и характеристики балок представлены на рис. 3.

Для изготовления балок использовали цементный тяжелый конструкционный бетон класса по прочности на сжатие В25.

Для изготовления балок использовали каучуковый бетон (кауто́н), компонентный состав которого, представлен в табл. 1. Коэффициенты химической стойкости каутона представлены в табл. 2. Физико-механические свойства каутона представлены в табл. 3.

Таблица 1

Состав каутона

Наименование	Содержание компонентов, масса %
Низкомолекулярный каучук ПБН	8
Сера техническая	4
Тиурам-Д	0,4
Оксид цинка	1,6
Окись кальция	0,5
Зола	7
Кварцевый песок	24
Гранитный щебень	Остальное (54,5)

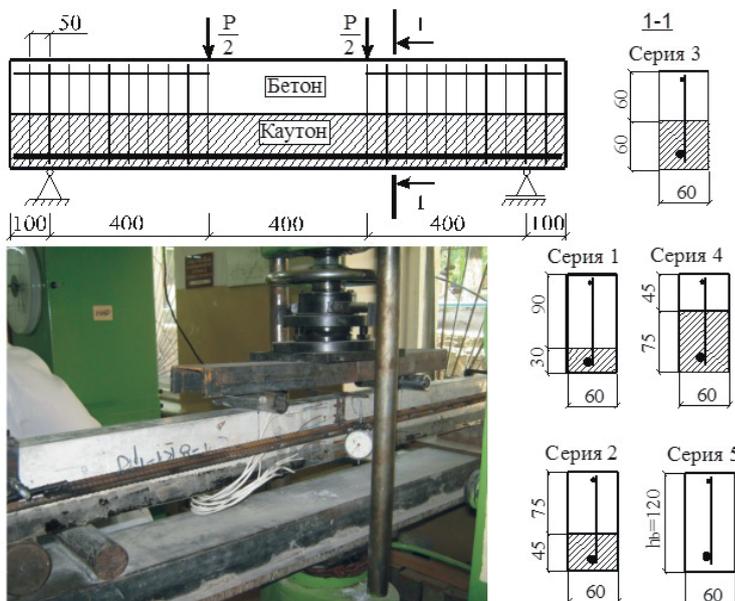


Рис. 3. Схема армирования балок и общий вид перед испытанием

Изготовление двухслойных элементов из бетона и каутона заключили в две стадии. На первом этапе изготавливали бетон верхнего слоя (под нагрузкой – сжатого), спустя 28 суток, после набора бетоном прочности, изготавливали каутон нижнего слоя, формуя его в опалубке на затвердевшем бетоне.

До приготовления бетонной смеси промывали песок и щебень, подготавливали форму (подготовка форм заключалась в очистке рабочих поверхностей от остатков материала и смазки их специальным составом). Дозирование песка, щебня, цемента и воды производили на электронных весах с точностью до 0,5 г. Армировали балки сварными каркасами. Продольные стержни каркасов выполнены из арматуры класса А500С, поперечные – из Вр-I (рис. 3), шаг поперечных стержней составлял 50 мм, и выбран таким образом, чтобы опытные образцы не разрушались по наклонному сечению при испытании. Для соединения стержней использовали контактную сварку. Приготовление бетона осуществлялось в бетономешалке принудительного действия в течение 4 мин. Сначала перемешивались сухие составляющие бетонной смеси, затем перемешивание производилось совместно с водой. Далее бетонную смесь укладывали в стальную форму, уплотнение бетонной смеси производилось на виброплощадке в течение 100 ± 3 с. Бетон твердел в нормальных условиях при температуре 20...25 °С при влажности 75...85 % с увлажнением в течение первых семи суток, затем в воздушно-сухих условиях. Спустя 28 суток, после набора бетоном прочности, приступали к изготовлению слоя из каутона.

Приготовление каутоновой смеси включало в себя следующие операции: промывку заполнителя, сушку наполнителя и заполнителя, подготовку компонентов отверждающей группы, дозирование составляющих.

Дозирование песка, щебня, каучука и компонентов отверждающей группы и наполнителя осуществляли на электронных весах с точностью до 0,5 г.

Перемешивание составляющих производили в скоростном смесителе. Полимерное связующее приготавливали путем совмещения жидкого каучука с компонентами отверждающей группы и дисперсным минеральным наполнителем золой. Время перемешивания связующего составляло 80 с при 1000 об/мин. Затем в приготовленное связующее вводили мелкий и крупный наполнитель. Полимербетонную смесь готовили в том же смесителе при скорости 180 об/мин. в течение 200 с.

Перед укладкой каутоновой смеси в форму счищали водную пленку с поверхности бетонного слоя, зачищали его с помощью металлической щетки для увеличения сил сцепления между бетоном и каутоном. Для нормальной работы конструкций и улучшения сцепления между бетоном и каутоном необходимо, чтобы процесс усадки бетона к моменту изготовления слоя из каутона был полностью завершен. С целью удаления влаги, бетонные слои выдерживали при температуре 60 °С в течение 8 ч. Приготовленную смесь укладывали в формы и уплотняли на стандартной лабораторной виброплощадке. Продолжительность вибрирования

Таблица 2

Коэффициенты химической стойкости каутона

Вид агрессивной среды	Коэффициент химической стойкости	
	через 1 год экспонирования	Прогнозируемый через 10 лет
20 %-ный раствор серной кислоты	0,95	0,95
3 %-ный раствор азотной кислоты	0,8	0,7
10 %-ный раствор лимонной кислоты	0,9	0,8
20 %-ный раствор едкого натрия	0,95	0,95
10 %-ный раствор едкого калия	0,8	0,65
Насыщенный раствор хлористого натрия	0,9	0,8
Дизельное топливо	0,95	0,95
Вода	1	0,99

Таблица 3

Физико-механические свойства каутона

Свойства	Показатели
Прочность при сжатии, МПа	60...110
Прочность при растяжении, МПа	8...20
Модуль упругости, МПа	$(2,0...3,5) \cdot 10^4$
Коэффициент длительности при сжатии	0,77...0,78
Коэффициент Пуассона	0,18...0,35
Теплостойкость, °С	90...100
Морозостойкость, число циклов замораживания – оттаивания, не менее	500
Истираемость, г/см ²	0,15...0,3
Водопоглощение, мас. %	0,05
Усадка, мм/м	0,17...0,21

100 ± 30 с. Признаком достаточного уплотнения каутоновой смеси служит выделение связующего на поверхности и прекращение интенсивного образования пузырьков воздуха.

После выполнения всех указанных операций форму со смесью помещали в камеру сухого прогрева, где происходило отверждение каутона при температуре 120 ± 5 °С в течение 8 часов (с учетом времени подогрева – 11 часов). Разопалубливание производили после полной полимеризации и охлаждения образцов.

Балки испытаны на поперечный изгиб на прессе. Загружение балок производили двумя равными сосредоточенными силами, последовательно возрастающими вплоть до разрушения. При таком нагружении между точками приложения нагрузок образуется зона чистого изгиба. Нагрузку на балки подавали равномерно до момента разрушения. Значения разрушающих нагрузок определяются по диаграммам деформирования арматуры (при разрушении по растянутой зоне) и бетона крайнего сжатого волокна (при разрушении по бетону сжатой зоны). На рис. 4 показаны зависимости деформаций арматуры для балки С1-8К-30-а (серия 1 с каркасом из одного стержня диаметром 8 мм и толщиной слоя каутона 30мм) и деформаций крайнего сжатого волокна бетона для балки С3-14К-60-б (серия 3 с каркасом из одного стержня диаметром 14 мм и толщиной слоя каутона 60мм) от изгибающих моментов. При разрушении по растянутой зоне перед разрушением деформации в арматуре интенсивно развиваются и за критерий разрушения принимаем точку перелома на диаграмме «М-ε_s» (рис. 4, а). В случае хрупкого разрушения по бетону в момент разрушения деформации крайнего волокна сжатой зоны начинают интенсивно возрастать, за момент разрушения принимаем точку изменения наклона зависимости «М-ε» крайнего сжатого волокна бетона (рис. 4, б).

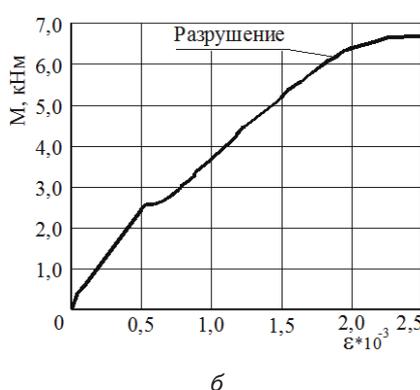
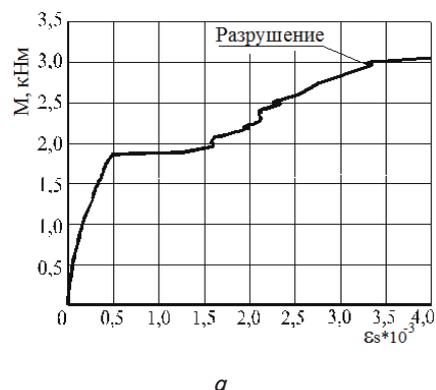


Рис. 4. Изменение деформаций в зависимости от изгибающих моментов:
а – в арматуре балки С1-8К-30-а; б – в крайнем сжатом волокне бетона балки С3-14К-60-а

5. Результаты экспериментальных исследований прочности нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных балок и их обсуждение

Как показали проведенные исследования, основными факторами, влияющими на несущую способность нормальных сечений двухслойных изгибаемых каутоно-бетонных элементов, являются процент продольного армирования и отношение слоев каутона и бетона.

Результаты испытания позволили получить зависимости несущей способности каутоно-бетонных изгибаемых элементов от отношения слоев (рис. 5, а) и процента продольного армирования (рис. 5, б).

Характерные разрушенные двухслойные каутоно-бетонные балки и железобетонная балка показаны на рис. 6.

При увеличении процента продольного армирования от 0,69 % до 1,57 % несущая способность линейно увеличивается при увеличении толщины слоя каутона, при дальнейшем увеличении процента продольного армирования несущая способность балок изменяется, но не существенно (разрушение происходит по сжатой зоне) (рис. 5, б). Для повышения несущей способности балок при проценте продольного армирования свыше 1,57 % необходимо использовать двойное армирование (армирование сжатой зоны).

Повышение несущей способности двухслойных конструкций наглядно выявлено при сравнении с несущей способностью подобных железобетонных балок. Несущая способность двухслойных балок превышает несущую способность железобетонных балок на всем интервале варьирования толщиной слоя каутона. При этом при увеличении толщины слоя каутона несущая способность увеличивается, но не существенно. При максимальной толщине слоя каутона (75 мм) несущая способность двухслойных балок превышает несущую способность железобетонных балок на:

- 41 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=0,69$ %;
- 14,2 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=1,09$ %;
- 11,3 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=1,57$ %;
- 11,8 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=2,14$ %.

Результаты испытания двухслойных каутоно-бетонных балок сведены в табл. 4.

Увеличение несущей способности двухслойных балок при увеличении толщины слоя каутона заметно при малом проценте продольного армирования. При увеличении толщины слоя каутона с 30 мм до 75 мм для балок с процентом продольного армирования $\mu=0,69$ % несущая способность увеличивается на 20 %, а для балок с процентом продольного армирования $\mu=2,14$ % несущая способность практически не увеличивается при увеличении толщины слоя каутона.

Если для балок с продольным процентом армирования 0,69 % и 1,09 % разрушение началось с растянутой зоны (течение арматуры), то балки с процентом продольного армирования 2,14 % работали как переармированные и разрушение носит хрупкий характер (разрушение по сжатой зоне). Балки с процентом продольного армирования 1,57 % работали аналогично железобетонным с граничным армированием (деформации в бетоне сжатой зоны и арматуре достигают предельных значений).

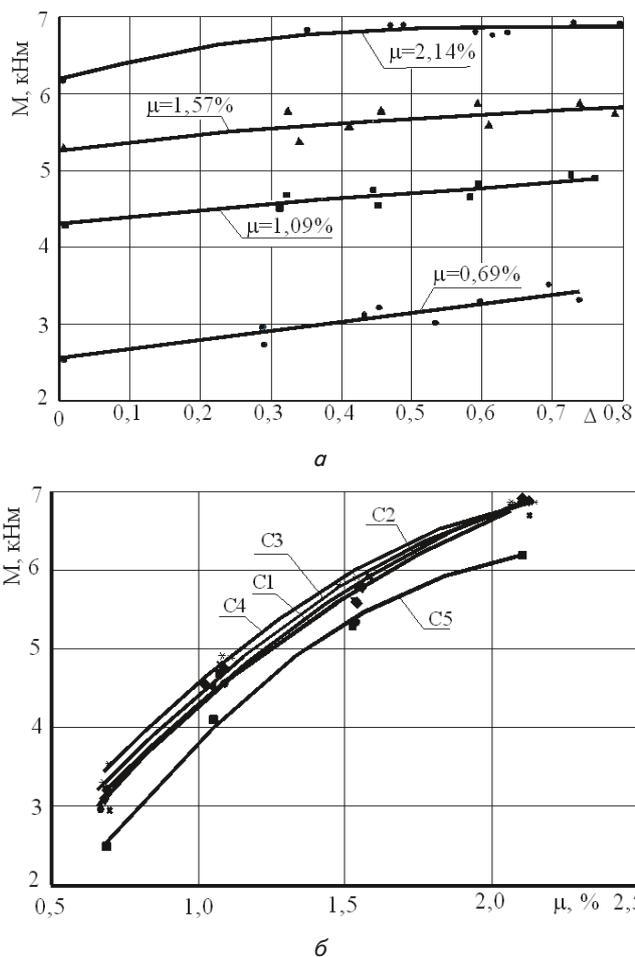


Рис. 5. Несущая способность испытанных балок в зависимости от: а – отношения слоев; б – процента продольного армирования; $\Delta = h_k/h_0$, h_k – высота слоя каутона, h_0 – рабочая высота сечения, μ – процент продольного армирования, С – серия балок



Рис. 6. Разрушенные двухслойные каутоно-бетонные балки и железобетонная балка

Для малоармированных сечений балок из-за значительного предела растяжимости арматуры при ее

«течении» высота трещины развивается, что приводит к уменьшению высоты сжатой зоны и в итоге к ее разрушению.

Таблица 4

Результаты испытания двухслойных каутоно-бетонных балок

Шифр балок	$\Delta = \frac{h_k}{h_0}$	$\mu, \%$	M_u , кНМ	$\frac{M_u}{M_{u(б)}}$	R_b , МПа
C1-8K-30-a	0,29	0,67	2,94	1,18	31
C2-8K-45-a	0,45	0,68	3,1	1,24	29,9
C2-8K-45-6	0,43	0,69	3,2	1,25	33,7
C3-8K-60-a	0,6	0,68	3,25	1,3	29,9
C3-8K-60-6	0,53	0,7	2,9	1,16	33,7
C4-8K-75-a	0,7	0,69	3,53	1,41	31,5
C4-8K-75-6	0,74	0,68	3,3	1,32	32,4
C1-10K-30-a	0,32	1,06	4,67	1,09	33,4
C1-10K-30-6	0,32	1,05	4,58	1,07	28,3
C1-10K-30-в	0,31	1,09	4,58	1,07	29,3
C2-10K-45-a	0,44	1,09	4,75	1,1	31
C2-10K-45-6	0,45	1,02	4,58	1,07	33,1
C3-10K-60-a	0,6	1,07	4,8	1,12	31,7
C3-10K-60-6	0,59	1,07	4,67	1,09	33,1
C4-10K-75-a	0,76	1,06	4,91	1,14	28,3
C4-10K-75-6	0,73	1,08	4,91	1,14	33,4
C1-12K-30-a	0,34	1,53	5,33	1,01	28,8
C1-12K-30-6	0,33	1,55	5,8	1,09	33
C2-12K-45-a	0,41	1,54	5,6	1,06	25,5
C2-12K-45-6	0,46	1,55	5,8	1,09	33,1
C3-12K-60-a	0,61	1,53	5,6	1,06	31,1
C3-12K-60-6	0,61	1,53	5,6	1,06	25,5
C3-12K-60-в	0,59	1,58	5,9	1,11	33
C4-12K-75-a	0,81	1,58	5,8	1,09	28,9
C4-12K-75-6	0,74	1,54	5,9	1,11	35,8
C1-14K-30-a	0,35	1,52	6,87	1,11	32,4
C2-14K-45-a*	0,49	2,07	6,9	1,11	31,5
C2-14K-45-6*	0,47	2,1	6,93	1,12	35,6
C3-14K-60-a*	0,59	2,12	6,87	1,11	31,5
C3-14K-60-6*	0,61	2,1	6,7	1,08	35,6
C3-14K-60-в*	0,64	2,13	6,81	1,1	33,15
C4-14K-75-a*	0,73	2,07	6,87	1,11	32,4
C4-14K-75-6*	0,80	2,15	6,87	1,11	31,9
C5-8K-0	–	0,69	2,5	–	31,2
C5-10K-0	–	1,05	4,3	–	32,4
C5-12K-0	–	1,52	5,3	–	29,6
C5-14K-0*	–	2,1	6,2	–	33,4

* – соответственно хрупкое разрушение, M_u – момент разрушения, $M_{u(б)}$ – момент разрушения железобетонных балок, h_k – высота слоя каутона, h_0 – рабочая высота сечения, R_b – призматическая прочность контрольных образцов

В процессе экспериментальных исследований выявлено, что поверхность контакта между двумя материалами не разрушается в процессе испытания (сдвиговые деформации в зоне контакта отсутствуют).

Несущая способность конструкций с каутоном в растянутой зоне выше аналогичных железобетонных конструкций и объясняется это тем, что высокое сцепление арматуры и каутона препятствует резкому проявлению

нию пластических деформаций в арматуре, что позволяет более эффективно использовать свойства растянутой арматуры, а соответственно и бетона сжатой зоны.

Результаты приведенных исследований могут быть использованы при разработке способов расчета двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых строительных конструкций.

6. Выводы

Анализ результатов экспериментальных исследований прочности нормальных сечений двухслойных каутоно-бетонных изгибаемых конструкций показал, что:

– основными факторами, влияющими на несущую способность нормальных сечений двухслойных изгибаемых каутоно-бетонных элементов, являются процент продольного армирования и отношение слоев каутона и бетона;

– при увеличении процента продольного армирования от 0,69 % до 1,57 % несущая способность линейно увеличивается при увеличении толщины слоя каутона, при дальнейшем увеличении процента продольного армирования несущая способность балок изменяется, но не существенно (разрушение происходит по сжатой зоне);

– несущая способность двухслойных балок превышает несущую способность железобетонных балок на 41 % для балок с процентом продольного армирова-

ния $\mu=0,69$ % и толщиной слоя каутона 75 мм (балки С4-8К-75-а и С4-8К-75-б); 14,2 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=1,09$ %; 11,3 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=1,57$ %; 11,8 % для балок с процентом продольного армирования $\mu=2,14$ %;

– при наличии каутона в растянутой зоне несущая способность балок превышает несущую способность аналогичных железобетонных балок. При этом при увеличении толщины слоя каутона несущая способность увеличивается, но не существенно;

– увеличение несущей способности двухслойных балок при увеличении толщины слоя каутона заметно при малом проценте продольного армирования. При увеличении толщины слоя каутона с 30 мм до 75 мм для балок с процентом продольного армирования $\mu=0,69$ % несущая способность увеличивается на 20 %, а для балок с процентом продольного армирования $\mu=2,14$ % несущая способность практически не увеличивается при увеличении толщины слоя каутона;

– разрушение балок с процентом продольного армирования до 1,5 % происходит по растянутой зоне (по арматуре). При проценте продольного армирования более 1,5 % разрушение происходит по сжатой зоне (по бетону);

– установлено, что поверхность контакта между двумя материалами не разрушается в процессе испытания (сдвиговые деформации в зоне контакта отсутствуют).

Литература

1. Figovsky, O. Advanced Polymer Concretes and Compounds [Text] / O. Figovsky, D. Beilin // CRC Press, New York, 2014. – 245 p. doi: 10.1201/b16237
2. Borisov, Yu. Constructional Composites Based on Non-Isocyanate Polyurethane [Text] / Yu. Borisov, D. Barabash, D. Panfilov, A. Anisimov // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 103–109.
3. Potapov, Yu. X-Ray Fluorescence Spectroscopy Analysis of Pyrolyzate of a Polymer Concrete Based on Polybutadiene Binder [Text] / Yu. Potapov, Yu. Borisov, S. Goshev // Scientific Israel - Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 11–17.
4. Borisov, Yu. Strength and Performance Efficiency of Rubber Concrete [Text] / Yu. Borisov, S. Goshev // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 18–23.
5. Borisov, Yu. Stress – Strain Characteristics of Fiber Polymer Concrete Based on Polybutadiene Binder [Text] / Yu. Borisov, D. Panfilov, S. Kashtanov, Ye. Yudin // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 30–37.
6. Borisov, Yu. Fiber-Reinforced Rubber Concretes [Text] / Yu. Borisov, D. Panfilov // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 24–29.
7. Borisov, Yu. Thermal Resistance of Rubber Concrete Based on Butadiene Oligomer [Text] / Yu. Borisov, D. Barabash, S. Goshev // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 73–76.
8. Borisov, Yu. Wear Resistance Coverings on the Basis of Oligodiens Oligomer [Text] / Yu. Borisov, D. Barabash // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 77–81.
9. Pinaev, S. Effect of Polymer-Cement Protection on Crack Resistance of Reinforced Concrete Bending Elements [Text] / S. Pinaev // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2013. – Vol. 15, Issue 4. – P. 93–96.
10. Borisov, Yu. Stress-Strain State of Normal Cross-Section of Two-Layer Cauton-Concrete Bending Elements of Building Structures [Text] / Yu. Borisov, A. Polikutin, Phan Duy Nguyen // Scientific Israel – Technological Advantages. Scientific Herald of Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. – 2011. – Vol. 2, Issue 10. – P. 6–13.