

5. ТКП 45-3.02-108-2008. Высотные здания. Строительные нормы проектирования. – Мн.: Типпроект, 2008. – 178 с.

6. EN 1991-1-7. General Actions – Accidental Actions.

7. Тур, А.В. К определению динамических коэффициентов для случая внезапного приложения нагрузки // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь. сб. тр. 15 Междунар. научн.-метод. семинара: в 2 т. / Под общ. ред. Д.Н. Лозовского и А.А. Хотько. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – Т. 1 – С. 116–125.

8. Тур, А.В. Расчет железобетонных балок при внезапном приложении нагрузки с использованием квазистатического использования диаграмм “нагрузка – динамическое перемещение” // Вестник БрГТУ. – 2009. – № 1: Строительство и архитектура. – С. 109–116.

9. СНБ 5.03.01. Бетонные и железобетонные конструкции. – Мн.: Типпроект, 2003. – 237 с.

УДК 624.012.45

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АНКЕРОВКИ УГЛЕПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ ПРИ УСИЛЕНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Лазовский Д.Н., Бадалова Е.Н.

Введение. На современном этапе развития строительной отрасли прогрессивным методом усиления железобетонных конструкций является приклеивание дополнительной арматуры из композиционных материалов. Несмотря на достаточно высокую стоимость таких материалов, применение арматуры из углеродных, арамидных или стекловолокон имеет ряд преимуществ, таких как высокая прочность на растяжение при достаточно высоком модуле упругости, небольшой собственный вес, простота транспортировки и монтажа, коррозионная стойкость и многие другие. Возможность использования композиционных материалов на основе углеродных волокон для усиления изгибаемых железобетонных конструкций подтверждено экспериментальными исследованиями, проводимыми в лабораторных условиях, а также опытом применения их для усиления реальных конструкций.

Экспериментальные исследования. В 2007–2008 г.г. в лаборатории кафедры “Строительные конструкции” Полоцкого государственного университета проведен ряд исследований усиленных железобетонных изгибаемых конструкций. Были испытаны четыре железобетонные многопустотные плиты, одна из которых как эталонная (без усиления), а три усилены в растянутой зоне приклеиванием дополнительной арматуры в виде углепластиковых пластин. Эксперименты подтвердили эффективность применения углепластиковой арматуры для усиления железобетонных изгибаемых конструкций: прочность плит после усиления возросла более чем в 1.4 раза [1]. Однако разрушение усиленных плит происходило при нагрузке, значение которой ниже теоретической нагрузки, соответствующей прочности усиленной конструкции. Во всех трех экспериментах наблюдали однотипный характер разрушения: отслоение углепластиковых пластин от поверхности бетона плит. Так как отслоение углепластиковых пластин является одной из основных причин потери работоспособности изгибаемых усиленных железобетонных элементов, что подтверждено как настоящими экспериментами, так и результатами других исследований [3], то очевидно, что очень важным является вопрос анкеровки пластин усиления. Таким образом, проведенные испытания железобетонных многопустотных плит,

усиленных приклеиванием в растянутой зоне дополнительной углепластиковой арматуры, определили направление дальнейших исследований.

Испытания на сдвиг. С целью изучения вопросов анкеровки доп. приклеенной арматуры в виде углепластиковых пластин и получения симметрии длины анкеровки от усилий в пластине, от класса бетона усил. конструкции и др. разработана методика испытаний. Железобетонные размеры поперечного сечения 140x250(h) мм длиной 500 мм и железные балки с размерами поперечного сечения 120x220(h) мм длиной были усилены приклеиванием с одной стороны углепластиковой пластины Sika CarboDur S512 (рис. 1). Экспериментальные образцы изготовлены из различных классов бетона с разной прочностью, установленной в процессе испытания призм и кубов на осевое сжатие 18,9, 24,3, 32,1 МПа. Для пластины усиления варьировалась от 200 до 1000 мм.

Рисунок 1 – Усиленные железобетонные образцы для проведения испытаний на сдвиг



Железобетонный блок располагали в испытательной установке усиленной стороной вниз (рис. 2). Свободный конец пластины усиления неподвижно закрепляли на стене посредством болтов. Испытание осуществлялось путем сдвига железобетонного блока относительно углепластиковой пластины. Нагрузку образца велось ступенями по 2,5 кН с помощью

домкрата грузоподъемностью установленного горизонтально.

В процессе испытаний контролировали изменение относительных деформаций в углепластиковой пластине с помощью тензорезисторов.

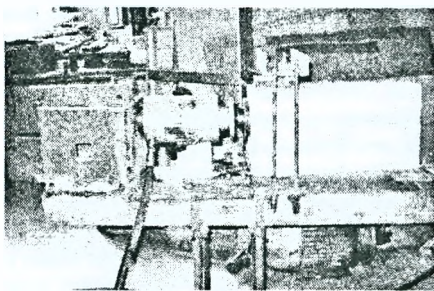


Рисунок 2 – Общий вид испытательной установки

Относительные деформации по длине углепластиковой пластины росли неравномерно (рис. 3). Наиболее интенсивный рост деформаций с увеличением нагрузки наблюдался на участке пластины, ближайшем к нагружаемому торцу железобетонного элемента. На другом конце приклеенного участка пластины роста деформаций не происходило вплоть до последних ступеней нагружения (нагрузки, составляющей более 80% от предельной). Перед разрушением наступало резкое увеличение относительных деформаций на конце приклеенной пластины, после чего происходил отрыв пластины от поверхности бетона.

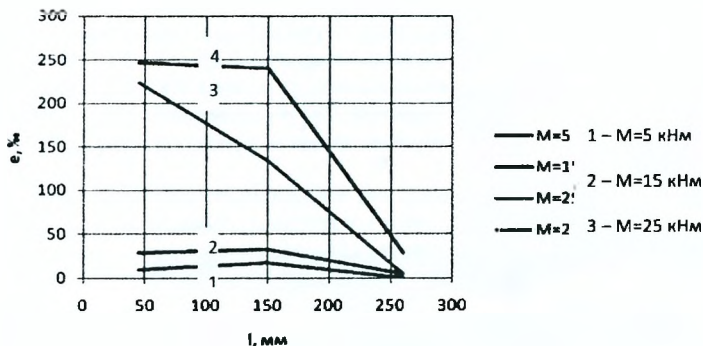


Рисунок 3 – График распределения относительных деформаций по длине приклеивания пластины Sika CarboDur S512

Отслоение углепластиковой пластины происходило по двум поверхностям:

- по бетону опытного образца. Разрушение происходило, в основном, непосредственно вблизи склеиваемой поверхности. Однако наблюдался также отрыв бетона на глубину до 40 мм вблизи нагружаемого торца блока (наиболее характерно для бетона с призмочной прочностью 18.9 МПа);

- по контакту между клеящим составом и углепластиковой пластиной. При этом виде разрушения почти всегда наблюдалось частичное отслоение углеродных волокон с поверхности пластины.

Для одного и того же блока чаще всего имело место разрушение по различным поверхностям. Отслоение углепластиковой пластины по контакту с клеящим составом происходило на участках, наиболее удаленных от нагружаемого торца блока.

В результате эксперимента установлено, что среднее значение разрушающей нагрузки для блоков, усиленных приклеиванием углепластиковой пластины на длине 200-400 мм, одинаково и составляет 37.5 кН. Для балок, усиленных на длине 1000 мм, разрушающая нагрузка составила 55 кН (рис. 4).

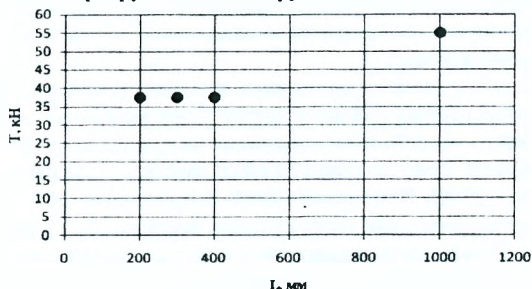


Рисунок 4 – График зависимости разрушающего сдвигающего усилия от длины приклеивания углепластиковой пластины

Проведенные нами ранее испытания многопустотных железобетонных плит, усиленных приклеиванием дополнительной углепластиковой арматуры в виде пластин, показали необходимость усиления зоны анкеровки дополнительной арматуры. В качестве дополнительного анкерующего элемента предполагалось использовать холст из углеродных волокон.

С целью выявления зависимости разрушающей сдвиговой нагрузки от положения волокон холста по отношению к продольной оси элемента были проведены опытные исследования. На подготовленную поверхность железобетонных блоков на длине 200 мм приклеивались пластины Sika CarboDur S51 поверх которых наклеивался холст шириной 150 мм и длиной 250 мм. Направление углеродных волокон холста по отношению к продольной оси опытного образца варьировалось от 0 до 90°.

Результаты эксперимента показали, что наибольшего значения разрушающая нагрузка достигает при направлении углеродных волокон холста по отношению к продольной оси элемента, равном 15° (рис. 5).

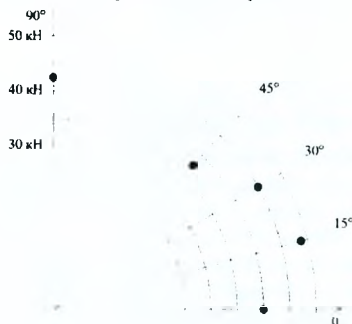


Рисунок 5 – График зависимости разрушающего сдвигающего усилия от угла поворота углеродных волокон холста относительно продольной оси элемента

В настоящем эксперименте отслоение углепластиковой пластины происходило аналогично предыдущим опытам по двум поверхностям: по бетону блока и контакту между клеящим составом и пластиной. Одновременно с отслоением пластины, в основном, наблюдалось отслоение холста с его разрывом вдоль углеродных волокон, расположенных под углом от 0 до 45° по отношению к продольной оси элемента. При расположении холста поперек продольной оси опытного образца (угол 90°) разрыва волокон либо не происходило, либо холст разрывался поперек волокон.

Дальнейшие испытания проводились на многопустотной железобетонной плите, усиленной в растянутой зоне двумя углепластиковыми пластинами Sika CarboDur S512 на длине 5,7 м без заведения за грани опор. В зоне анкеровки на длине 400 мм поверх пластин усиления был наклеен холст из углеродных волокон SikaWrap Hex 230C. Усиленная плита испытывалась по однопролетной балочной схеме четырьмя сосредоточенными нагрузками, приложенными в четвертях пролета. Плита нагружалась поэтапно ступенями по 0,05-0,025 от нагрузки, соответствующей моменту разрушения плиты.

Разрушение опытной плиты произошло в результате достижения арматурой основного сечения предельных деформаций с одновременным отслоением углепластиковых пластин от поверхности бетона (рис. 6). Однако по сравнению с результатами предыдущих опытов, фактический момент разрушения превысил значение теоретического момента прочности плиты, определенного на основе деформационной модели [2] с использованием программы "Бета" (табл. 1).

Таблица 1 – Сопоставление опытных и расчетных значений разрушающего изгибающего момента

Шифр опытных плит	M_R^{exp} , кНм	M_R^{calc} , кНм	$\frac{M_R^{exp}}{M_R^{calc}}$
П-1	40.2	40.1	1.00
П-2	69.4	69.5	1.00
П-3	58.4	75.8	0.77
П-4	67.7	78.3	0.86
П-5	85.6	83.2	1.03

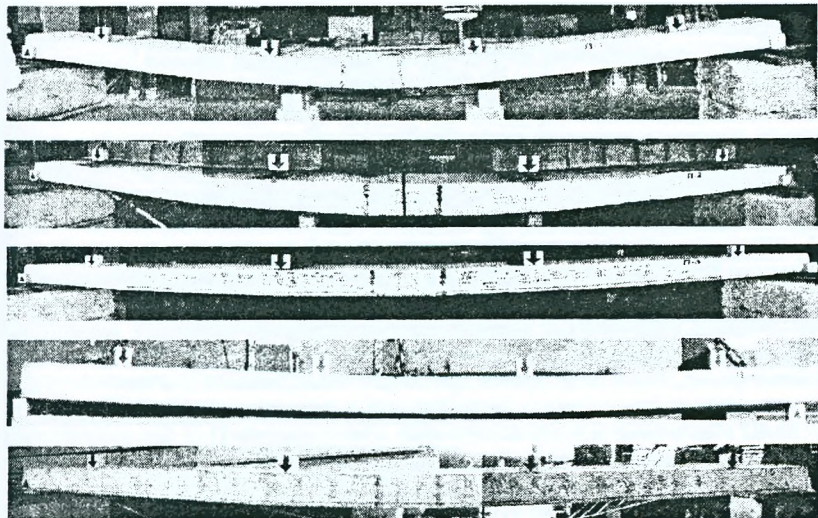


Рисунок 6 – Общий вид опытных плит П-1 – П-5 после разрушения

Заключение. Результаты испытаний усиленной многпустотной железобетонной плиты подтвердили необходимость дополнительной анкеровки концов углепластиковых пластин, приклеенных в растянутой зоне изгибаемых элементов без заведения за грани опор. Экспериментальные исследования на сдвиг железобетонных элементов, усиленных приклеиванием углепластиковых пластин, показали положительные результаты использования в качестве дополнительного анкерующего элемента холста из углеродных волокон.

Список цитированных источников

- 1 Бадалова, Е.Н. Усиление изгибаемых железобетонных конструкций углепластиковой арматурой // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F – "Прикладные науки". – 2007. – № 6. – 54–59 с.
- 2 СНБ 5.03.01-02 Бетонные и железобетонные конструкции/ Минстройархитектуры Республики Беларусь. – Минск, 2003. – 139 с.
- 3 Шилин А.А. [и др.] Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. – М.: Стройиздат, 2007. – 184 с.: ил
- 4 Шилин, А.А. [и др.] Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами/ А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Каргузов. – М.: Стройиздат, 2004. – 144 с.: ил.