

УДК 624.012.45

**УСИЛЕНИЕ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ ПЕРЕКРЫТИЙ АРМАТУРОЙ
НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА**

канд. техн. наук А.П. ЖУКЬЯН, Е.Н. БАДАЛОВА, Е.Д. ЛАЗОВСКИЙ, Н.С. СИВУШЕНКО
(Полоцкий государственный университет)

Исследуются сборные железобетонные панели перекрытий и их усиление арматурой на основе углеродного волокна. Для усиления использовались углеволоконные пластины типа Sika CarboDur H514 и Sika CarboDur S512 приклеиванием их в растянутой зоне дополнительной арматуры.

В процессе испытаний были получены данные о разрушающей нагрузке, характере образования и развития трещин, ширине их раскрытия и прогибах. На основе проведенных экспериментальных исследований и сравнения опытных данных с теоретическими показано: усиление железобетонных многопустотных панелей перекрытий и покрытий путем приклеивания дополнительной арматуры на основе углеродных волокон в растянутой зоне позволяет увеличить их прочность в 1,45...1,73 раза; при эксплуатационной нагрузке в усиленных плитах образуется больше трещин с меньшим шагом, уменьшается ширина их раскрытия.

Введение. Одной из важных задач строительного комплекса является увеличение прочности конструкций (бетонных, кирпичных, деревянных, стальных). Часто требуется обеспечить надежную эксплуатацию конструкций, демонтаж и замена которых значительно дороже ремонта или невозможны вообще. При выборе метода усиления конструкции в конкретных условиях необходимо учитывать приемлемость того или иного способа с точки зрения нагрузок и технического состояния усиливаемой конструкции, агрессивной среды, пожаро- и взрывоопасности усиливаемой конструкции, достижения необходимой прочности, технологичности и экономичности, без уменьшения габаритов помещений и эстетики и т.д. [1, 2 – 6].

Основная часть. Разработка новых методов усиления часто связана с применением новых материалов. Углеволокно достаточно широко используется за рубежом для усиления конструкций. В нашей стране способ усиления углеволокнами материалами недостаточно изучен и применяется не так часто. Наибольшее применение углеволокно получило в усилении мостов и колонн. По нашему мнению, возможно использовать углеволокно и для усиления сборных многопустотных панелей перекрытий.

Значительную долю в общей массе изгибаемых железобетонных конструкций составляют многопустотные железобетонные плиты покрытий и перекрытий, которые могут не удовлетворять предъявляемым требованиям по прочности, жесткости и трещиностойкости и подлежат усилению.

В настоящее время известны многочисленные способы усиления изгибаемых железобетонных конструкций зданий и сооружений.

Одним из первых крупных российских объектов, при реконструкции которого была использована система углеволоконного усиления, стал мост преднапряженной конструкции через Клязьминское водохранилище (Дмитровское шоссе, Россия), собранный из блоков с заведением напрягаемой арматуры.

Рассмотрим *углеволоконные материалы*, производителем которых является швейцарская компания Sika. Компания Sika выпускает три вида углеволоконных материалов [7]: угольники Sika CarboShear; холсты Sika Wrap; полосы Sika CarboDur.

Угольники Sika CarboShear L (L-образные элементы) играют роль своего рода внешних хомутов, наклеиваемых на тавровые балки и ребристые плиты. Угольники анкерятся в сжатых зонах полков сечений (для чего сверлятся специальные отверстия) и приклеиваются клеем Sikadur 30 к боковым и нижним поверхностям изгибаемых конструкций.

Холсты из углеродных волокон Sika Wrap широко применяются в растянутых зонах конструкций, а также там, где конструкции работают на срез. Усиленные Sika Wrap конструкции проявляют высокую устойчивость к динамическим, в частности, тектоническим нагрузкам. Есть возможность наклеивания этих холстов в три слоя, при этом образуется эстетически привлекательный внешний тонкий слой с возможностью нанесения на него цветного защитного покрытия.

Полосы Sika CarboDur представляют собой углеродные волокна в эпоксидной матрице (содержание углеродных волокон более 68 %). Выпускается три вида полос: Sika CarboDur S; Sika CarboDur M; Sika CarboDur H, обладающих различными механическими характеристиками. Каждая из трех систем имеет свой набор типоразмеров, различающихся по ширине (от 50 до 150 мм) и толщине (1,2 и 1,4 мм), что дает возможность выбрать оптимальное решение для каждого конкретного случая усиления [8].

Несмотря на то, что в нашей стране система материалов Sika CarboDur применяется сравнительно недавно и пока не известна широкому кругу специалистов, накоплен достаточный и разносторонний опыт использования углеволоконных пластин и холстов на белорусских объектах [8]: усиление пролетного строения моста через реку Неман на трассе М1/Е30; усиление балок путепровода на 24-м км МКАД в Минске и ригелей Дворца спорта в Минске; ремонт арок моста им. Кирова через реку Западная Двина в Витебске.

Для изучения физико-механических свойств материала использовались углеволоконные пластины типа Sika CarboDur H514 и Sika CarboDur S512 с поперечными размерами: ширина – 50 мм, толщина – 1,4 и 1,2 мм соответственно. Для испытания пластин была предложена специальная конструкция зажимов (рис. 1), состоящая из металлических пластин, приклеенных к углеволокну эпоксидным клеем с корундовым зерном, что увеличило сцепление металлических пластин с углеволоком. Эта конструкция исключала возможность повреждения углеволокна при установке и испытании его на разрывной машине (рис. 2).

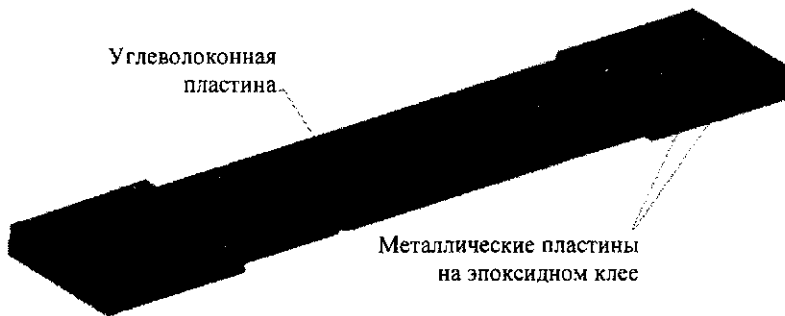


Рис. 1. Схема приспособления для испытания углеволоконных пластин на растяжение

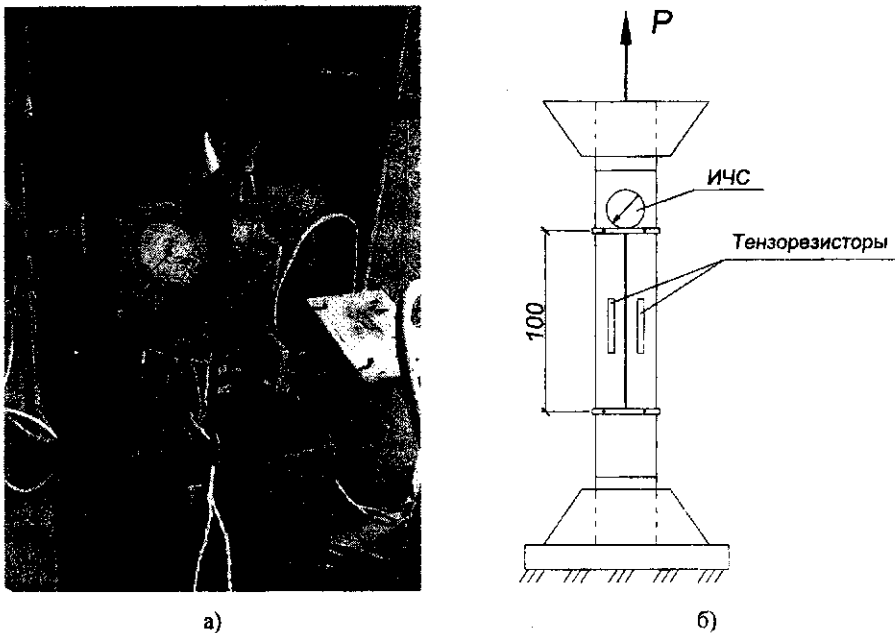


Рис. 2. Установка для испытания углеволоконных пластин на растяжение:
а – общий вид установки; б – схема размещения приборов

Определенные в результате испытания механические характеристики углеволоконных пластин представлены в таблице 1.

Таблица 1

Механические характеристики углеволоконных пластин

Тип углеволоконных пластин	f_{tk} , МПа	E_s , МПа	Поперечное сечение, $b \times h$, мм
H514	1715	$2,8 \cdot 10^5$	$50 \times 1,4$
S512	2465	$1,91 \cdot 10^5$	$50 \times 1,2$

Все опытные многопустотные плиты, ранее изготовленные на заводе, прошли специальную подготовку к испытанию. Всего было испытано три плиты. Опытные плиты имели маркировку П-1, П-2, П-3. Плита П-1 испытывалась как эталонная (без усиления), П-2 и П-3 были усилены полосами из углеволокна типа Sika CarboDur H514 и Sika CarboDur S512 соответственно.

Общий вид испытательной установки представлен на рисунке 3.

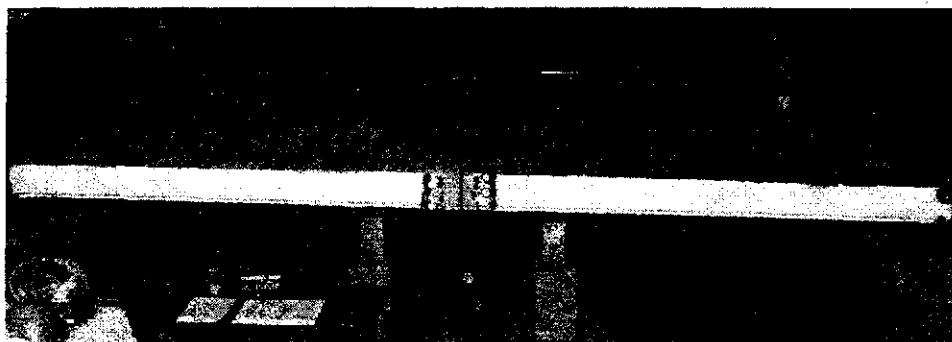


Рис. 3. Общий вид испытательной установки

Усиление плит перекрытия производилось в ненагруженном состоянии. При помощи специально клея Sikadur-30 углеволоконные полосы были приклеены на плиту снизу. Для обеспечения необходимого сцепления клея с бетоном приклеивание полос проводилось на подготовленную (очищенную и обезжиренную ацетоном) поверхность плиты. Испытание усиленных плит проводилось через 2-е суток после усиления, т.е. после полного застывания клея.

Все 3 плиты были испытаны по одной схеме. Конструкцию нагружали при помощи домкрата, запитанного от насосной станции и системы траверс, распределяющей нагрузку от домкрата на 4 составляющих. Нагрузку прикладывали этапами (по 0,1 от нагрузки, соответствующей проектной прочности плиты). Для большего приближения к реальным условиям эксплуатации конструкции на четырех этапах производилось полное разгружение.

Деформации приклеиваемых углеволоконных пластин определялись при помощи тензорезисторов с базой 20 мм, наклеенных на подготовленную поверхность пластин и тщательно изолированных.

В процессе испытаний были получены данные о разрушающей нагрузке, характере образования и развития трещин, ширине их раскрытия и прогибах.

Разрушение эталонной плиты П-1 произошло в результате достижения арматурой условного предела текучести (изгибающий момент при разрушении плиты равен $M_{exp} = 40,2$ кН·м).

Разрушение плиты П-2 произошло в результате разрыва пластин усиления (изгибающий момент, соответствующий разрушающей нагрузке, равен $M_{exp} = 69,40$ кН·м).

Разрушение плиты П-3 произошло по контактному шву между бетоном опытной плиты и пластиной усиления (изгибающий момент при отрыве пластин равен $M_{exp} = 58,4$ кН·м). В обоих случаях разрушение носило хрупкий характер, который обусловлен не разрушением бетона сжатой зоны, а отрывом элементов усиления по контактному шву, что в свою очередь приводит к резкому уменьшению площади поперечного сечения растянутой арматуры.

В таблице 2 приведены результаты опытных и расчетных значений изгибающих моментов.

Таблица 2

Результаты опытных и расчетных значений разрушающего изгибающего момента

Шифр опытных плит	M_R^{exp} , кН·м	M_R^{clc} , кН·м	$\frac{M_R^{exp}}{M_R^{clc}}$	$\frac{M_R^{exp}}{M_{R1}^{exp}}$
П-1	40,2	40,1	1,01	1
П-2	69,4	69,5	0,99	1,73
П-3	58,4	75,8	0,77	1,45

Условные обозначения: M_R^{exp} – максимальный изгибающий момент, полученный в ходе эксперимента; M_R^{clc} – максимальный изгибающий момент, полученный путем расчета; M_{Ri}^{exp} – максимальный изгибающий момент i -й плиты, полученный в ходе эксперимента; M_{R1}^{exp} – максимальный изгибающий момент 1-й плиты, полученный в ходе эксперимента.

Сравнительный анализ разрушающих моментов для опытных плит П-2 и П-3 с эталонной плитой П-1 (см. табл. 2) показывает увеличение прочности в результате усиления соответственно в 1,45...1,73 раза.

В процессе испытания напряженно-деформированного состояния бетона и дополнительной углепластиковой арматуры прогиб плиты измерялся с помощью прогибомера с ценой деления 0,01 мм, ширина раскрытия трещин – с помощью микроскопа.

На рисунке 4 представлены результаты измерения прогибов в центре пролета опытных плит.

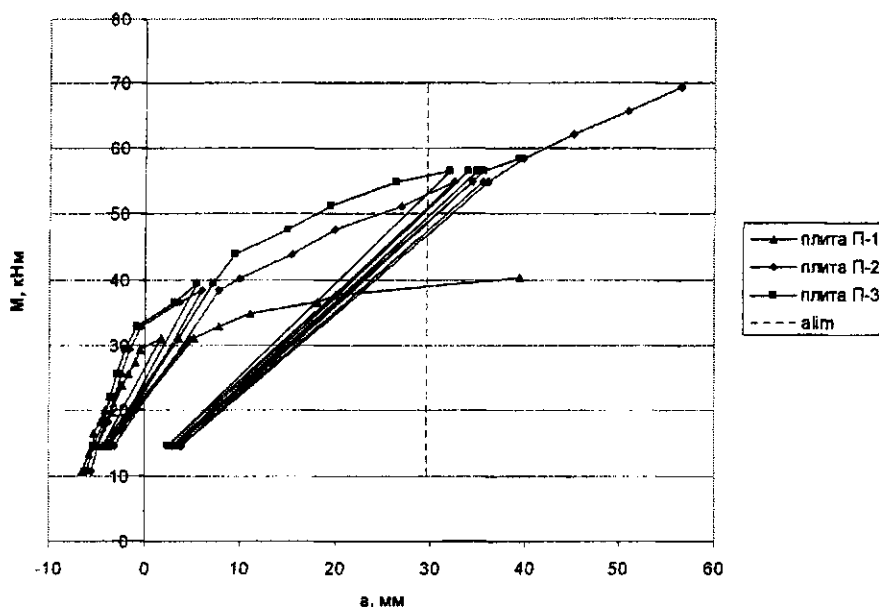


Рис. 4. Зависимости прогиба в середине пролета плиты от изгибающего момента

Из графика видно, что при максимально допустимом прогибе a_{lim} для плит данного пролета изгибающий момент усиленных плит в 1,2...1,5 раза больше, чем для эталонной плиты, что свидетельствует об увеличении жесткости.

На рисунке 5 представлены опытные зависимости ширины раскрытия трещин от изгибающего момента.

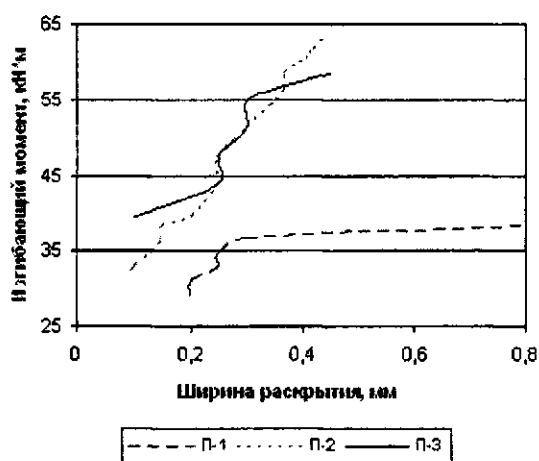


Рис. 5. Зависимости ширины раскрытия трещин от изгибающего момента

Анализ графиков (см. рис. 5) показывает, что ширина раскрытия трещин усиленных плит при одинаковых изгибающих моментах гораздо меньше, чем у эталонной, а момент образования трещин для усиленных плит наступает при больших изгибающих моментах по сравнению с эталонной плитой.

Для определения деформаций в пластине усиления тензорезисторы устанавливались на половине ее длины с шагом 250 мм (рис. 6, 7).

Внешний вид опытных плит после испытаний представлен на рисунке 8.

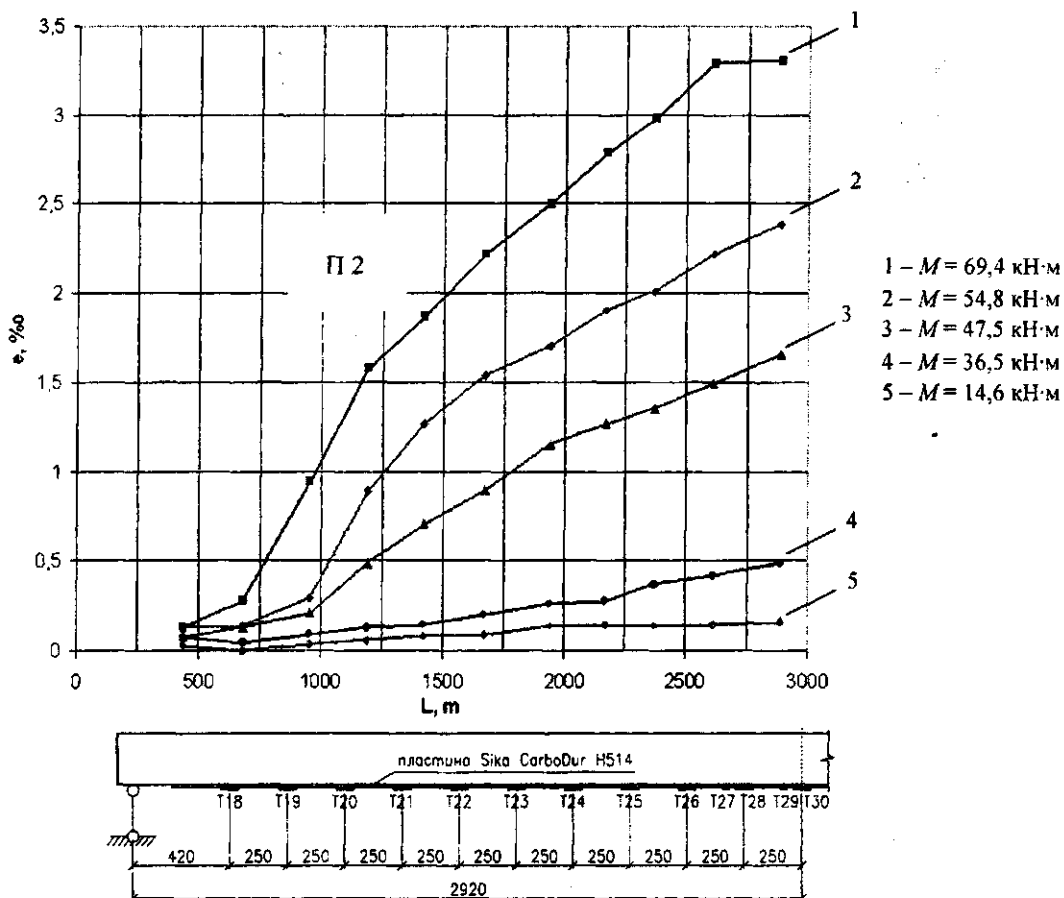


Рис. 6. Распределение относительных деформаций по длине пластины Sika CarboDur H514

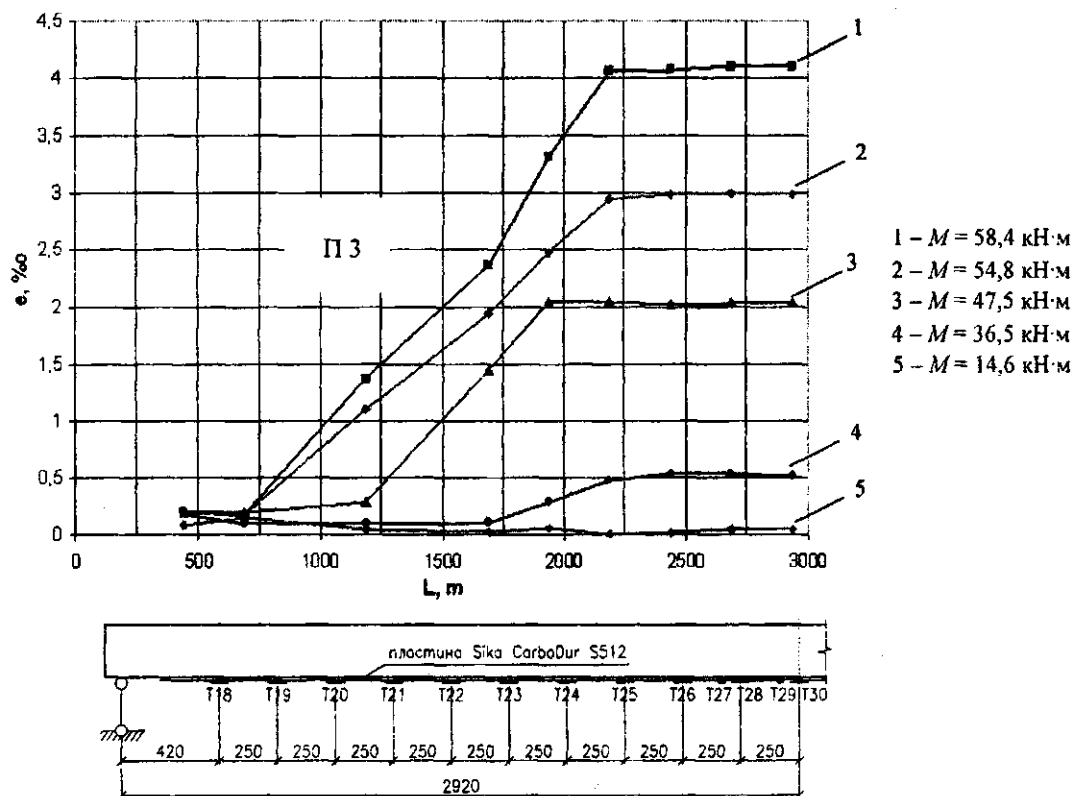


Рис. 7. Распределение относительных деформаций по длине пластины Sika CarboDur S512

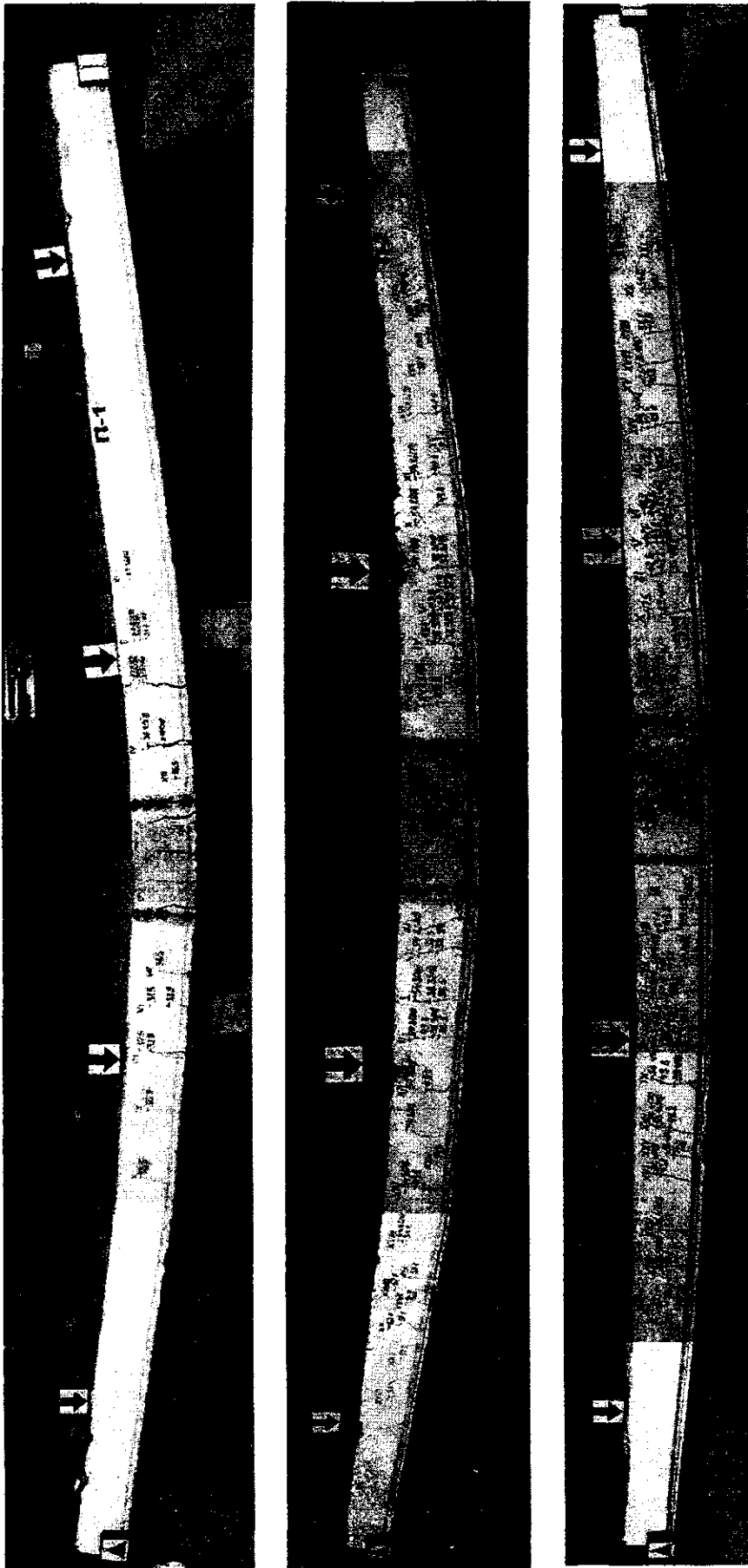


Рис. 8. Внешний вид опытных плит после испытаний

Схема усиления железобетонных панелей перекрытий путем приклеивания дополнительной углепластиковой арматуры представлена на рисунке 9.

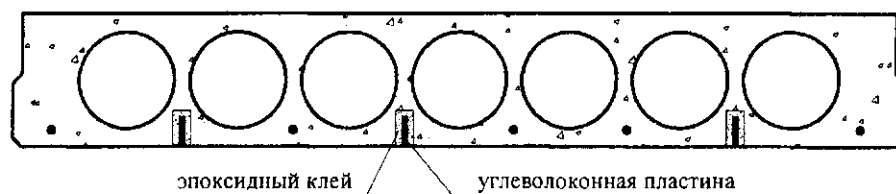


Рис. 9. Схема усиления железобетонных панелей перекрытий

Согласно проведенным теоретическим исследованиям данный способ усиления позволит исключить разрушение усиленной конструкции по контактному шву, одновременно повысит огнестойкость. Однако использование данного способа усиления требует дальнейших экспериментальных исследований.

На основе проведенных экспериментальных исследований и сравнения опытных данных с теоретическими можно сделать следующие **выводы**:

- усиление железобетонных многопустотных панелей перекрытий и покрытий путем приклеивания дополнительной арматуры на основе углеродных волокон в растянутой зоне позволяет увеличить их прочность в 1,45...1,73 раза;
- при эксплуатационной нагрузке в усиленных плитах образуется больше трещин с меньшим шагом, уменьшается ширина их раскрытия. Это обусловлено включением в совместную работу с бетоном растянутой зоны дополнительной арматуры;
- проведенные исследования показали возможность разрушения усиленных плит перекрытия по анкеровке дополнительной арматуры, что требует дальнейших исследований контактного шва;
- при одинаковых нагрузках прогибы в усиленных плитах меньше, чем в не усиленных;
- вследствие отсутствия площадки текучести у дополнительной арматуры изменяется характер разрушения конструкции, это необходимо учитывать и при расчетах принимать больший коэффициент безопасности [9] по дополнительной арматуре из углеволокна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ройтман, А.Г. Надежность конструкций эксплуатируемых зданий / А.Г. Ройтман. – М.: Стройиздат, 1985. – 175 с.
2. Реконструкция зданий и сооружений: учеб. пособие для строит. спец. вузов / А.Л. Шагин [и др.]. – М.: Высш. шк., 1991. – 352 с.
3. Лазовский, Д.Н. Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых строительных сооружений / Д.Н. Лазовский. – Новополоцк: ПГУ, 1998. – 240 с.
4. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.
5. Барашиков, А.Я. Надежность восстанавливаемых и усиливаемых конструкций зданий и сооружений / А.Я. Барашиков, Д.М. Подольский, М.Д. Сирота. – Черкассы, 1993. – 44 с.
6. Рекомендации по оценке состояния и усилению строительных конструкций промышленных зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1989. – 104 с.
7. Информационные материалы фирмы «Феликс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.felix.by>.
8. Система углеволоконного усиления несущих конструкций транспортных и промышленно-гражданских сооружений // Архитектура и строительство. – 2005. – № 5. – С. 48 – 49.
9. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02 / Минстройархитектуры Респ. Беларусь. – Минск, 2003. – 139 с.

Поступила 12.05.2008