

## **НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ УГЛЕПЛАСТИКАМИ ПРИ НЕМНОГОПОВТОРНЫХ ЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ**

*Рассмотрена методика проведения испытаний образцов-балок без усиления и с усилением их углепластиками при воздействии циклической знакопостоянной и знакопеременной нагрузки.*

**Ключевые слова:** железобетонные балки, углепластиковые волокна, методика расчета.

**Введение.** Большое количество пролётных железобетонных конструкций зданий и сооружений, испытывающих воздействие малоцикловых повторных и знакопеременных нагружений, в пределах эксплуатационного уровня и выше находятся на стадии, близкой к исчерпанию несущей способности. Исходя из этого, в настоящее время учёные обратили внимание на комплексные системы усиления конструкций композиционными материалами на основе углеродных волокон ввиду их уникальных прочностных свойств.

Применение углепластиков позволяет не только повысить прочность и трещиностойкость таких конструкций, но и увеличить их жёсткость, тем самым продлить срок эксплуатации. Однако в отечественных и зарубежных нормах проектирования практически не учитывается влияние многократно повторного нагружения на работу усиленных углепластиками пролётных железобетонных конструкций, т.к. она остаётся ещё недостаточно изученной, особенно на приопорных участках. Исходя из этого, исследования в указанном направлении являются важными и актуальными.

**Обзор последних источников исследований и публикаций.** Изучению работы усиленной растянутой зоны нормальных и наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов посвятили свои работы такие известные отечественные ученые, как Б.А. Ашимов, Е.М. Бабич, А.Я. Барашиков, Е.М. Блали, З.Я. Блихарский [1, 2], О.П. Борисюк, Б.А. Боярчук, О.И. Валовой, И.В. Васильев, А.Г. Грановский, С.О. Гриневиц, С.С. Давыдов, Д.И. Дубижанский [3], А. Касасбех, В.Г. Кваша [4], М.И. Кисилиер, М.Д. Климуш, А.П. Конончук [5], А.П. Кричевский, С.А. Кричевский, А.И. Мальганов, Л. Лагода, Р. Котыня, И.В. Мельник, С.В. Мельник [6], Л.А. Мурашко, А.Я. Мурин, С.М. Новикова, О.В. Панченко [7], Ф.Н. Рабинович, Я.В. Рымар, А.К. Салех, М.Ю. Смолянинов, О.П. Сунак, П.О. Сунак, Г.К. Хайдуков, О.Л. Шилин и другие.

Очевидно, что наиболее перспективным и рациональным направлением усиления изгибаемых железобетонных элементов является их усиление без изменения расчётной схемы и напряжённого состояния конструкции. Начиная с 70 – 80-х годов прошлого столетия, активные исследования в этом направлении провели такие зарубежные учёные, как Е.З. Аксельрод, Al-Mahaidi, А. Нii, А.Ф. Бернадский, С.А. Бокарев, В.А. Клевцов, Д.В. Картузов, Р. Котыня, М. Лагода, Михуб Ахмад, А.А. Неровных, О.А. Омельченко, А.В. Панков, Л.А. Панченко, В.А. Пшеничный, В.И. Римшин, В.П. Устинов, Ю. Хаютин, В.Л. Чернявский, А.А. Шилин, А.Г. Юрьев и другие.

Несмотря на проведенные указанными учёными исследования, расчёт прочности, трещиностойкости и деформативности усиленных углепластиками изгибаемых железобетонных элементов по нормальным и, особенно, наклонным сечениям ещё далёк от совершенства, тем более при циклическом действии нагрузки.

Исходя из этого, задача накопления экспериментальных данных, необходимых для уточнения расчётной схемы и дальнейшего совершенствования методики расчёта изгибаемых железобетонных элементов, усиленных внешним армированием из углепластиков, является достаточно актуальной.

**Цель исследования** – изучить комплексное влияние наиболее значимых конструктивных факторов на показатели прочности, трещиностойкости и деформативности приопорных участков пролётных железобетонных элементов при воздействии циклического (знакопостоянного и знакопеременного) нагружения с использованием системного подхода, а также экспериментально проверить целесообразность применения систем усиления углепластиковыми железобетонных конструкций, достигших аварийного состояния.

**Постановка задания.** В данной статье рассматривается методика проведения опытов по знакопеременному нагружению усиленных углепластиковыми железобетонных образцов-балок, ранее доведенных при такой же нагрузке до аварийного состояния, план эксперимента, исследуемые факторы и уровни их варьирования, а также приводится информация о планируемом усилении опытных образцов углепластиковыми для восприятия ими возросшей циклической нагрузки.

**Основной материал и результаты.** На основании априорной информации было установлено, что наибольшее влияние на несущую способность приопорных участков исследуемых элементов оказывают такие факторы внешнего воздействия, как величина пролёта среза (по терминологии А.С. Залесова и Ю.А. Климова [8]) и режимы нагружения опытных балок, а среди конструктивных – класс бетона и количество поперечного армирования. Характеристика исследуемых факторов и уровней их варьирования представлена в табл. 1.

**Таблица 1 – Характеристика исследуемых факторов, а также уровней их варьирования**

№ п/п, код	Натуральные значения	Уровни варьирования		
		« - »	« 0 »	« + »
X <sub>1</sub>	Относительный пролёт среза $a/h_0$	1	2	3
X <sub>2</sub>	Класс бетона C, МПа	C15/20 (B20)	C30/35 (B35)	C45/50 (B50)
X <sub>3</sub>	Коэффициент поперечного армирования $\rho_{sw}$ , (BpI)	0,0016 (2 Ø3)	0,0029 (2 Ø4)	0,0044 (2 Ø5)
X <sub>4</sub>	Режимы нагружения балок $\eta$	$\pm 0,50$ , 0...0,50	$\pm 0,65$ , 0...0,65	$\pm 0,80$ , 0...0,80

Поскольку исследуемые факторы могут влиять нелинейно на функцию выхода, то их целесообразно аппроксимировать полиномом второй степени. В связи с этим, серии опытов выполняются по четырёхфакторному трёхуровневому Д-оптимального плану Бокса В<sub>4</sub>, обеспечивающему одинаковую точность прогнозирования выходного параметра в области, описываемой радиусом, равным 1 (считая от нулевой точки).

Опытные образцы – это железобетонные балки прямоугольного сечения размерами 100×200 мм и длиной 1975 мм. Армированы они двумя плоскими сварными каркасами с симметричной продольной нижней и верхней арматурой: 4Ø14 А500С. Поперечная арматура на приопорных участках состоит из 2Ø3, 4, 5 BpI, а на остальных участках – 2Ø6А240С. Конструкция и армирование образцов-балок приведены на рис.1.

Для испытания опытных образцов-балок были запроектированы и изготовлены специальные универсальные силовые установки.

В I серии опытов опытные образцы-балки доводились до разрушения на приопорных участках или состояния, близкого к нему, при статическом пропорциональном однократном нагружении с целью выявить максимальную несущую способность их приопорных участков. Механизм трещинообразования и разрушения образцов-балок при данном характере нагружения приведен на рисунке 2.

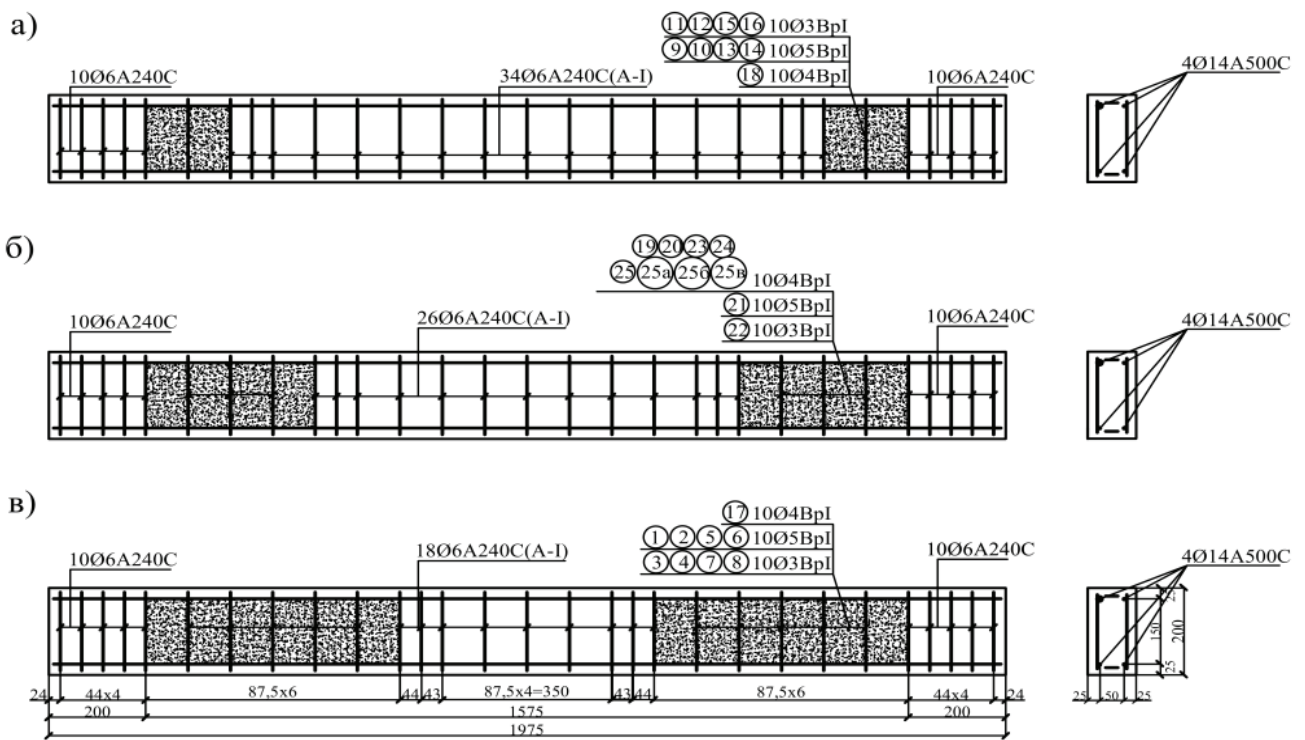
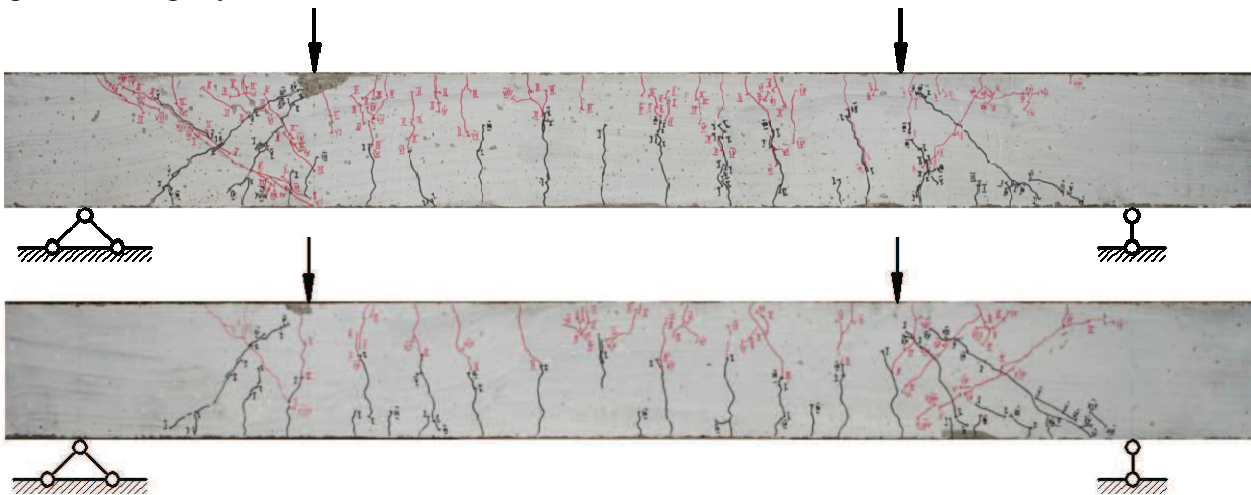


Рисунок 1 – Конструкція і армування опытных образцов-балок с малым (а), средним (б) и большим (в) пролётами среза (i – номер опыта)



**Рисунок 2 – Механизм трещинообразования в опытном образце-балке со средним пролётом среза при статическом пропорциональном однократном нагружении**

Во II серии опытов проводились испытания аналогичных цельных изгибаемых железобетонных элементов при малоцикловом знакопеременном нагружении с режимами  $\pm 0,5 \dots \pm 0,8$  до стабилизации деформаций и последующем догружении их до аварийного состояния образца, когда ширина раскрытия наклонных трещин достигала 0,8 мм. Механизм трещинообразования образцов-балок при данном характере нагружения приведен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Механизм трещинообразования в опытном образце-балке со средним пролётом среза при малоцикловом знакопеременном нагружении**

В III серии опытов мы намерены испытать исследуемые элементы малоцикловой знакопостоянной нагрузкой в режимах от  $0 \dots 0,5$  до  $0 \dots 0,8$  до стабилизации деформаций и напряжений с последующим догружением до аварийного состояния образца.

В IV серии испытаний предполагается усилить повреждённые опытные образцы-балки внешним продольным и поперечным армированием углепластиковыми лентами или полотнами и произвести их повторное испытание малоцикловой знакопостоянной в режимах от  $0 \dots 0,5$  до  $0 \dots 0,8$  и знакопеременной нагрузкой в режимах  $\pm 0,5 \dots \pm 0,8$  от разрушающей до стабилизации деформаций с последующим догружением до полного разрушения по наклонным или нормальным сечениям. Схема усиления образцов-балок углепластиковыми лентами приведена на рисунке 4.

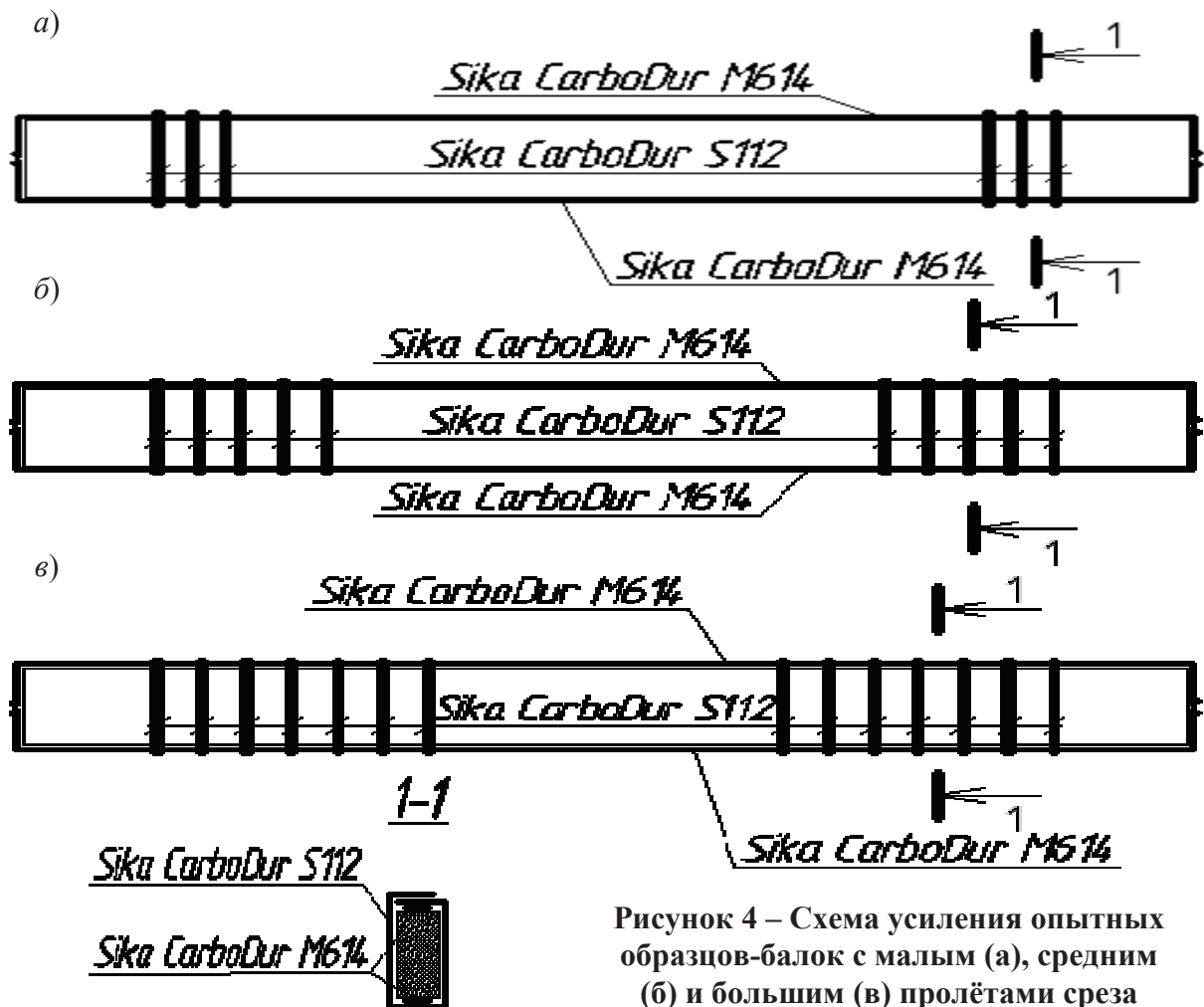


Рисунок 4 – Схема усиления опытных образцов-балок с малым (а), средним (б) и большим (в) пролётами среза

#### Выводы:

1. Анализ литературных источников и опубликованных результатов экспериментальных исследований показал, с одной стороны, что использование современных углепластиковых материалов является эффективным способом усиления как нормальных, так и наклонных сечений повреждённых изгибаемых железобетонных элементов, а, с другой стороны, проектирование такого усиления конструкций, достигших аварийного состояния, затруднено ввиду несовершенства как нормативных, так и известных авторских методик.

2. Запланированные исследования позволят экспериментально подтвердить возможность сохранения эксплуатационной пригодности балочных конструкций, достигших аварийного состояния, усовершенствовать инженерную методику их расчёта и соответствующий раздел норм проектирования.

#### Литература

1. Бліхарський Я.З. Міцність та деформативність залізобетонних колон, підсилені вуглецевою стрічкою / Бліхарський Я.З., Хміль Р.Є. // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» Сер.: Теорія і практика будівництва. – 2013. – № 755. – С. 15–20.
2. Міцність залізобетонних балок, підсилені під навантаженням системою Ruredilxmeshgold / Йовчик О.Д., Країнський П.І., Вашкевич Р.В., Хміль Р.Є. Бліхарський З.Я. // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» Сер.: Теорія і практика будівництва. – 2012. – № 737. – С. 133–138.
3. Дубіжанський Д.І. Теоретичне визначення міцності залізобетонних балок, підсилені залізобетонною обіймою за дії навантаження за інженерною методикою /

- Д.І. Дубіжанський, Р.Є. Хміль, Я.З. Бліхарський // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» Сер.: Теорія і практика будівництва. – 2012. – № 742. – С. 70–74.
4. Підсилення плоского монолітного залізобетонного перекриття багатопверхового житлового будинку з використанням наклеєних вуглепластиків / В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук, Ю.М. Собко, О.В. Панченко // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» Сер.: Теорія і практика будівництва. – 2009. – № 655. – С. 126–132.
  5. Конончук О.П. Робота нормальних перерізів згинальних залізобетонних елементів, підсилених композитними матеріалами за дії малоциклового навантаження: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. тех. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / О.П. Конончук. – Львів, 2013. – 20 с.
  6. Мельник С.В. Робота підсилених за похилими перерізами згинальних елементів при малоциклових навантаження та удосконалення методики розрахунку: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / С.В. Мельник. – Львів. – 20 с.
  7. Панченко О.В. Гнучкі стержневі і клеєстержневі анкери при розширенні й підсиленні залізобетонних мостів / О.В. Панченко, В.Г. Кваша, Л.В. Салійчук // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета: Сборник научных трудов. – Х.: ХНАДУ, 2012. – Вып. 57. – С. 46–53.
  8. Залесов А.С. Прочность железобетонных конструкций при действии поперечных сил / А.С. Залесов, Ю.А. Климов. – К.: Будівельник, 1989. – 105 с.

К.І. Албу, здобувач  
Д.С. Даниленко, здобувач  
Ю.А. Сьоміна, аспірант  
В.М. Карпюк, д.т.н., проф.  
Одеська державна академія будівництва та архітектури

## НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПОСИЛЕНИХ ВУГЛЕПЛАСТИКАМИ ПРИ НЕБАГАТОПОВТОРНИХ ЦИКЛІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

Розглянуто методику проведення випробувань зразків-балок без посилення та з посиленням їх вуглепластиками при дії циклічного знакопостійного та знаковмінного навантаження.

**Ключові слова:** залізобетонні балки, вуглепластикові волокна, методика розрахунку.

E.I. Albu, competent  
D.S. Danilenko, competent  
J.A. Syomina, post-graduate student  
V.M. Karpyuk, doctor of science, prof.  
Odessa State Academy of Building and Architecture

## BEARING CAPACITY OF REINFORCED CONCRETE BEAMS, REINFORCED WITH CARBON PLASTICS UNDER THE ACTION OF CYCLIC LOADS

This paper is devoted to technique of tests conducting of specimens-beams with the carbon fiber reinforcement and without the carbon fiber reinforcement under cyclic loading.

**Keywords:** reinforced concrete beams, carbon plastic fibers, calculation methodology.

Надійшла до редакції 12.09.2014  
© Е.І. Албу, Д.С. Даниленко, Ю.А. Сьоміна, В.М. Карпюк