

**Оксень Е.И., Пархоменко В.В.,  
Мосиенко Н.П., Сергейчук Н.П.,  
Семененко И.И.**

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК**

Актуальной задачей мостовой отрасли Украины на современном этапе является восстановление потребительских качеств большого парка балочных автодорожных мостов постройки 50-60-х годов. Естественный процесс старения материала, недостаточное качество слоев гидроизоляции, отсутствие надлежащего ухода в процессе эксплуатации привели к преждевременной потере прочности несущих конструкций и, в первую очередь, плиты проезжей части. В связи с этим, неотложной задачей является усиление изношенных конструкций, например, устройством монолитной накладной плиты [1,2,3].

В работах [1,2] указывается на необходимость повышения безотказности плиты проезжей части железобетонных балочных автодорожных мостов путем увеличения ее толщины. Исследованиями [3,4] установлено, что причинами снижения безотказности и жесткости усиливаемой конструкции является недостаточная прочность сцепления бетонов при совместной работе и укладка неоптимальной толщины дополнительного слоя.

Для уточнения условий работы плиты проезжей части автодорожных мостов, усиленной монолитной накладной плитой, были произведены экспериментальные исследования на моделях.

Цель исследований - установление влияния конструктивных параметров слоя набетонирования и технологии устройства накладной плиты на повышение прочности сцепления нового бетона со старым и увеличение несущей способности конструкции.

Методика исследований включала в себя изготовление серий опытных моделей балок, усиленных накладной плитой, определение прогибов и деформаций моделей под нагрузкой с применением механических приборов и тензорезисторов с базой 100мм в комплекте с измерительным комплексом АЦП.

Трещинообразование фиксировалось с применением акустических датчиков, а раскрытие трещин определялось с помощью микроскопа МПБ-2 с ценой деления 0,05мм. Для определения прочности бетона из каждого замеса изготавливались кубики размером 100×100×100 мм.

Исходными конструкциями для моделей были приняты железобетонные балки длиной 100см, шириной 20см и толщиной 5см, армированные сварными каркасами. Балки были изготовлены из тяжелого бетона на заводе железобетонных конструкций и несколько лет хранились в лаборатории. Прочность бетона по данным комплексных измерений соответствовала классу В22,5-В25.

В качестве конструктивных параметров приняты:

- толщина слоя набетонирования;
- наличие армирования в слое набетонирования.

В качестве технологических параметров принято:

- качество подготовки стыкуемых поверхностей.

Добетонирование экспериментальных балок осуществлялось в лабораторных условиях слоем тяжелого бетона толщиной 5 см с использованием металлической опалубки. Было изготовлено 4 серии балок по 3 шт. в каждой серии. При изготовлении каждой из серий применялись различные технологии подготовки поверхностей.

В I-й серии из 3-х балок подготовка поверхностей не производилась. Была определена толщина слоя карбонизации стыкуемой поверхности. Перед бетонированием поверхность балок обильно смачивалась водой. Бетонирование производилось для всех моделей одновременно с одного замеса бетона.

Поверхность 3-х балок II-й серии перед бетонированием обрабатывалась металлическими щетками, продувалась сжатым воздухом и смачивалась водой. Предварительно была определена степень карбонизации для последующего удаления слоя при механической обработке. Время между обработкой и подготовкой поверхности до укладки бетона усиления проходило не более 1 часа. Это исключило образование окисной пленки на обработанной поверхности. Перед бетонированием поверхность обильно смачивалась водой.

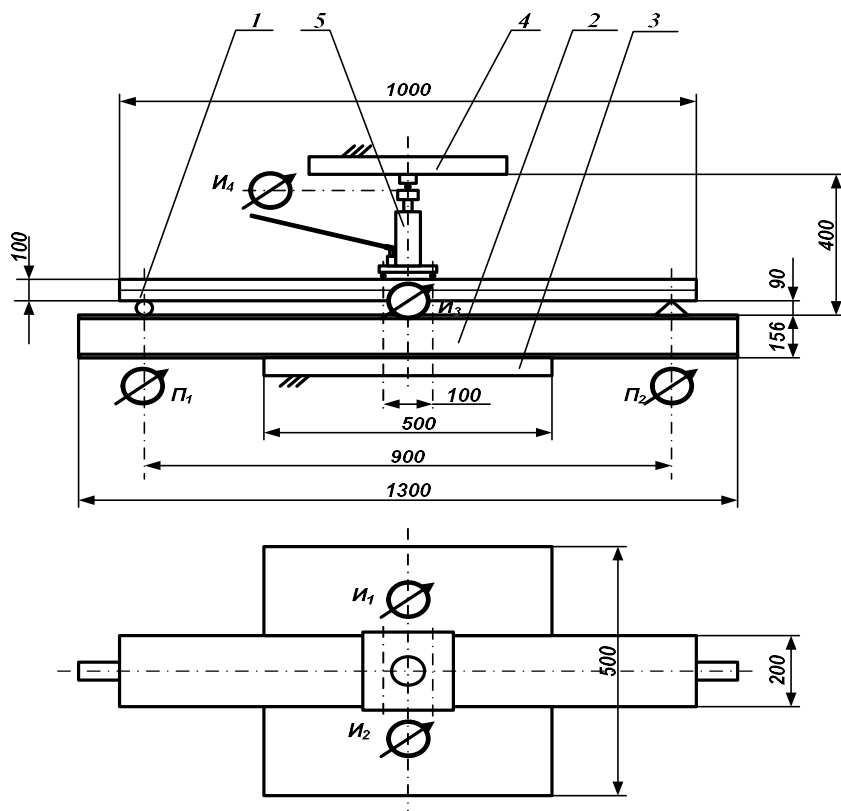
В III-й серии балок, кроме обработки поверхностей металлическими щетками, для увеличения шероховатости производилась насечка зубилом и смазка стыкуемой поверхности цементным раствором. Далее на подготовленную таким образом поверхность укладывались металлические каркасы из арматуры класса А-II. Размеры вязаных каркасов соответствовали таким, которые были забетонированы в существующих балках.

В IV-й серии подготовка поверхности экспериментальных балок проводилась металлическими щетками. Затем в балке просверливались отверстия для установки анкерных стержней, за которые крепились вязаные каркасы. Кроме подготовки поверхности, перед укладкой слоя усиления исследовался уровень карбонизации бетона балок. При механической обработке карбонизированный слой был полностью удален.

Бетонирование дополнительного слоя для всех серий образцов выполнялось бетоном одинакового состава. Для его изготовления использовался гранитный щебень с фракцией 10-30 мм, карьерный песок и цемент марки М500. Водоцементное отношение В/Ц = 0,45. Дозирование отдельных составляющих бетона определялось взвешиванием. Укладка смеси в подготовленную опалубку и вибрирование производилось вручную. Твердение бетона до начала испытаний проходило в естественных условиях без пропаривания более 90 дней. Для исключения возможности образования усадочных трещин образцы были укрыты тканью и слоем опилок, которые периодически поливались водой. Для определения прочности бетона одновременно с бетонированием балок изготавливались кубики сечением 10×10×10 см от 3 до 6 штук на каждую из серий образцов.

Перед началом испытаний балки были осмотрены и обмеряны. Расчетное сопротивление бетона на сжатие было определено методом пластических деформаций с применением молотка Кашкарова и испытанием образцов на прессе. Прочность бетона усиления по результатам измерений соответствовала классу В27,5. Осмотром балок с помощью микроскопа МПБ-2 на нижней поверхности были обнаружены поперечные волосные трещины, раскрытием 0,05-0,1 мм, которые были загерметизированы эпоксидной смолой. На поверхности бетона усиления балок трещины не обнаружены.

Исследование балок производилось на специально спроектированной и изготовленной испытательной установке (рис.1).

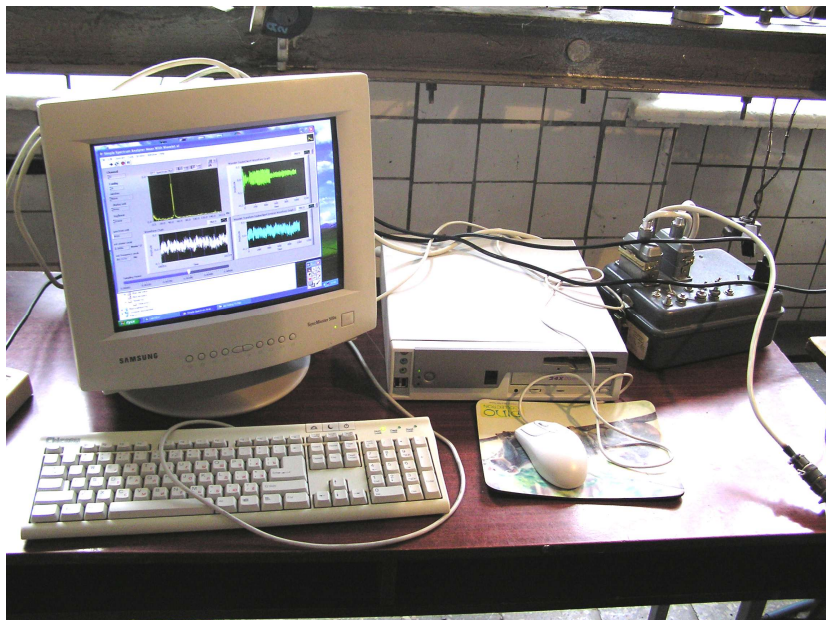


- 1 - экспериментальная балка; 2 - металлическая траверса;  
 3 - нижняя неподвижная плита основания;  
 4 - верхняя неподвижная плита; 5 - нагрузочное устройство

Рисунок 1 - Испытательная установка

При испытаниях для определения прогибов были использованы прогибомеры Максимова с ценой деления 0,1 мм и индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Для измерения продольных деформаций бетона использовался компаратор с ценой деления 2 мкм и базой 100 мм, а также проволоочные тензодатчики с базой 100 мм, сопротивлением 382 Ома, включенных по

полумостовой схеме. Наклейка тензодатчика во избежание выхода из строя при образовании трещины производилась на тонкую металлическую подложку из упругого материала. Для наклейки подложки и датчиков использовался специальный клей «Сужаноран МЕ». Деформации бетона под нагрузкой с применением тензодатчиков фиксировались на АЦП на базе ПЭВМ с двухканальной системой РСБ 1202Н [5], (рис. 2).



*Рисунок 2 - Измерительный комплекс АЦП*

Процесс трещинообразования определялся при помощи акустических датчиков с последующей обработкой на АЦП.

Для установления возможных взаимных горизонтальных перемещений слоев старого и нового бетонов устанавливался индикатор часового типа с ценой деления 2 мкм.

Нагрузочное устройство испытательной установки состояло из гидравлического домкрата, грузоподъемностью 50 кН и динамометра сжатия типа ДОСМ, воспринимающего усилие до 10 кН. Нагрузка прикладывалась к середине балки поэтапно с шагом 0,5 кН.

Для тарирования тензометрических датчиков использовалось тарировочное устройство, состоящее из жесткой станины и металлической консольной балки равного сопротивления.

Деформации на поверхности балки рассчитывались по прогибу  $f$  (мм), на расстоянии  $l$  от заделки. Коэффициент тензочувствительности измерительной системы получен по результатам нагружения балки в соотношении между силой  $P$  (кН), деформацией  $f$  (м), и сигналом ИС в форме напряжений  $U$  (В).

Исследование величин изменения контролируемых параметров экспериментальных балок производилось в несколько этапов.

На I этапе - по II группе предельных состояний определялись прогибы, деформации и нагрузки в момент образования трещин, а также прочность сцепления на отрыв при изгибе «старого» и «нового» бетонов.

Усилия на этом этапе принимались нормативной величины. В соответствии с расчетами изгибающий момент в середине пролета балки от собственного веса и временной нагрузки составил  $M_p = 0,352$  кН\*м для балок I и II серий и  $M_p = 0,507$  кН\*м для балок III и IV серий. На этапе деформаций от нагружения до предельных значений нормативной загрузки, определенной теоретическими расчетами, образование трещин и относительный сдвиг по стыкуемым поверхностям не обнаружены. Балки всех серий работали в упругом режиме, остаточных прогибов и деформаций сечений при многократных поэтапных нагружениях не наблюдалось. Для фиксирования момента образования трещин с помощью акустических датчиков, после достижения предельных расчетных значений по II группе предельных состояний, поэтапное нагружение было продлено. При этом осуществлялся контроль не только по датчикам, но и визуальный с применением механических приборов. Было установлено, что для всех серий испытуемых моделей величина нагрузки до образования первых микротрещин была близка и находилась в пределах 1,6-2,0 кН, что превышало значение теоретических предпосылок. Моменты образования трещин при плавном приложении загрузки были зафиксированы акустическими датчиками и визуальным наблюдением с помощью микроскопа МПБ-2. При этом не наблюдались отрыв и деформации взаимного смещения по границе «старого» и «нового» бетонов.

Результаты контроля прочности сцепления слоев бетона в зависимости от технологии подготовки поверхностей приведены в таблице 1.

**Таблица 1** - Характеристика прочности сцепления слоев бетона при изгибе

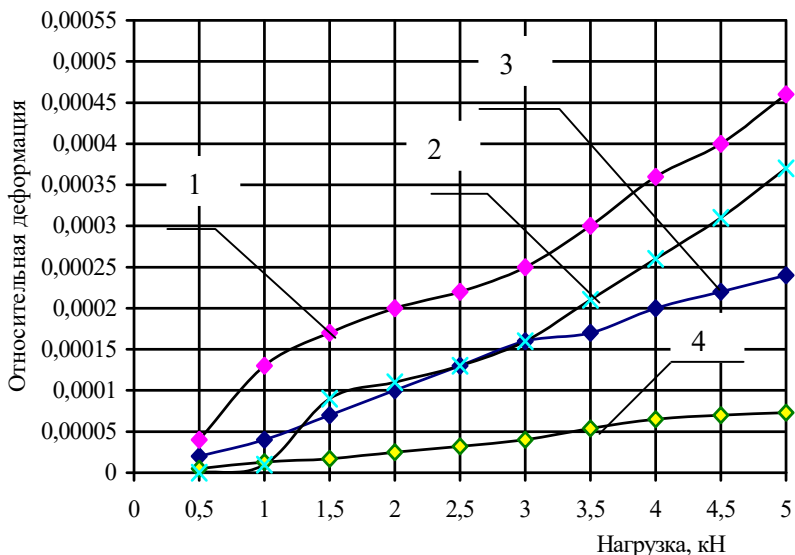
Серии образцов	Конструктивные и технологические методы подготовки поверхностей	Характеристика прочности сцепления при изгибе
I	Без подготовки поверхности	Взаимного перемещения по контактному слою не выявлено
II	Обработка металлическими щетками до полного удаления поверхностной пленки	Взаимного перемещения по контактному слою не выявлено
III	Обработка металлическими щетками до полного удаления поверхностной пленки, смазка поверхности цементным раствором, укладка арматурного каркаса	Взаимного перемещения по контактному слою не выявлено
IV	Обработка металлическими щетками до полного удаления поверхностной пленки, анкеровка стержней и жесткое закрепление арматурного каркаса	Взаимного перемещения по контактному слою не выявлено

Таким образом, в процессе испытаний были определены закономерности совместной работы усиленной конструкции при изгибе. С помощью приборов и визуально было установлено, что в балках всех серий при изгибе слои бетона включались в совместную работу, обеспечивая их высокую жесткость. Усилия, вызвавшие процесс трещинообразования в 8-10 раз превышали те,

которые вызвали образование микротрещин в балках, не усиленных накладной плитой (0,2 кН).

Вскрытие участка усиленной балки из I серии (без обработанной поверхности) путем механического удаления слоя набетонирования показало, что бетон скололся, главным образом, по границе контактного слоя, за исключением небольших участков, где у поверхности располагался щебень. Очевидно, что силы сцепления старого бетона с новым выше на тех участках, где у поверхности расположен крупный заполнитель. Измеренные относительные деформации растяжения в балках наименьшие для IV серии, близкие по значениям для балок II и III серий и наибольшие зафиксированы в балках I серии.

Величина относительных деформаций балок в зависимости от нагрузки приведены на рисунке 3.



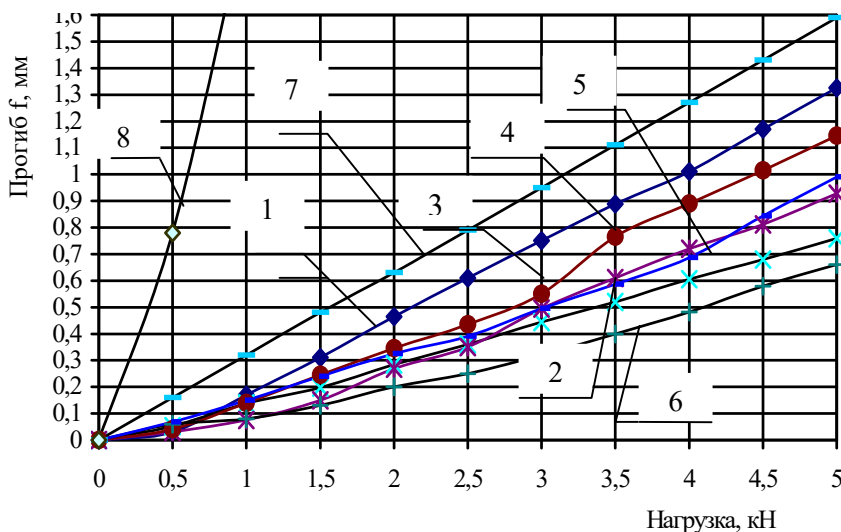
1- балки I серии; 2- балки II серии; 3- балки III серии;  
4- балки IV серии

Рисунок 3 - Относительные деформации растяжения балок

На II этапе испытания проводились по I группе предельных состояний на прочность. Расчетный изгибающий момент для балок I и II серий составил  $M_{sect}=1,711$  кН\*м, для балок III и IV серий -



$M_{sect}=2,845$  кН\*м. При испытаниях нагрузка на модель прикладывалась поэтапно с интервалом в 0,5 кН до расчетных значений. Показания по приборам брались через некоторое время после окончания нагружений. Это было необходимо для стабилизации прогибов и деформаций. Значение прогибов балок от действия нагрузки приведены на рис. 4.



1,2 - балки I серии; 3,4 - балки II серии; 5 - балки III серии;  
6 - балки IV серии; 7 - теоретический прогиб, 8 - неусиленная балка

Рисунок 4 - Прогибы балок при поэтапном нагружении

Было установлено, что степень подготовки поверхности путем очистки и создания дополнительной шероховатости существенным образом влияет на величину прочности сцепления, и ее проявление при испытаниях на изгиб выражается в увеличении несущей способности испытуемых балок. Наличие арматуры в бетонируемом сечении на величину несущей способности сказалось мало, поскольку она находится вблизи сжатой зоны. В монолитной накладной плите проезжей части арматура необходима, так как в эксплуатации под временными нагрузками она работает как неразрезная балка на упруго податливых опорах [4].

## **Выводы**

По результатам экспериментальных исследований представляется возможным сделать следующие выводы:

1. При работе конструкции на изгиб качество подготовки поверхностей до достижения предельных состояний не оказывает существенного влияния на сцепление по контакту «старого» и «нового» бетонов.

2. Толщина накладной плиты увеличивает несущую способность конструкции, при этом наличие арматуры в большей мере обеспечивает лучшую трещиностойкость и снижает степень влияния усадки и ползучести как в процессе твердения, так и в процессе дальнейшей эксплуатации. В плитах проезжей части усиленных накладной плитой арматура необходима. В реальных условиях она работает как неразрезная балка на упруго податливых опорах.

3. Полученные результаты могут быть рекомендованы для применения при разработке конструктивных и технологических рекомендаций по усилению и уширению плиты проезжей части автодорожных мостов монолитной накладной плитой.

## **Литература**

**1. Семенкин А.М., Шапиро Д.М.** Ремонт и уширение мостов постройки 50-60-х годов // Наука и техника в дорожной отрасли. - 2002.- №2.- С.13-12.

**2. Коваль П.М., Фаль А.Є.** Проблема забезпечення довговічності залізобетонних балкових автодорожніх мостів //Автодорожник України.-2004.-№1.- С.29-34.

**3. Кржишевська Я.В.** Вплив монолітної накладної плити розширення на перерозподіл навантаження з урахуванням її сумісної роботи з балками існуючої споруди // Наукові праці семінару “Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення”. - К.: НТУ, 1998. - С.128-132.

**4. Кржишевська Я.В.** Напружено-деформований стан монолітної накладної плити розширення і підсилення прогонових будов при реконструкції мостів // Наукові праці семінару “Сучасні проблеми проектування, будівництва та експлуатації споруд на шляхах сполучення” Третє засідання 22-23 червня 2000р. м. Київ: Тематичний випуск збірника «Автомобільні дороги та дорожнє будівництво» №59. - К.: НТУ, 2000. - С.139-143.

**5. Оксень Е.И.** Аппаратно-программный комплекс измерения параметров деформирования зернистых сред // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматика: Збірн. наук. праць. - Донецьк: ДонНТУ, 2002. - Вип.47. - С.277-283.