



*Приета: 18.03.2016 г.
Преработена: 11.04.2016 г.
Одобрена: 22.04.2016 г.*

ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА ЦИКЛИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ ВЪРХУ СЦЕПЛЕНИЕТО НА ГРЕДИ, УСИЛЕНИ С ТЕКСТИЛ-БЕТОН

С. Бошнаков¹

Ключови думи: усилване на конструкции, стоманобетон, текстил-бетон, текстилно армиран бетон, експеримент

РЕЗЮМЕ

Голяма част от съществуващите мостове в България (и не само в нея) са с намалена експлоатационна носимоспособност по различни причини. При реконструкция и модернизация тези мостове се налага да бъдат усилены и/или модернизирани. В световната практика съществуват различни способи за усилване както на връхната конструкция, така и на долното строене. Един от начините за усилване на мостови стоманобетонни греди (за огъване и напречни сили) е използването на въглеродни нишки в матрица от епоксидни смоли.

В настоящата статия се разглежда планирането, организирането и провеждането на експеримент за оценка на влиянието на цикличното въздействие, което е характерно за мостове, върху сцеплението между усиления бетон и текстил-бетона. Това е иновативен високотехнологичен материал, с който за пръв път в България се провежда експеримент и се изследва приложимостта му за усилване на стоманобетонни мостови елементи. В експеримента се изследва адхезията между текстилно армиран бетон и обикновен стоманобетон под действие на продължително циклично натоварване. Също така се предвижда и натоварването на някои образци до разрушаване.

¹ Симеон Бошнаков, инж. редовен докторант, кат. „Транспортни съоръжения“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: boshnakov_fte@uacg.bg

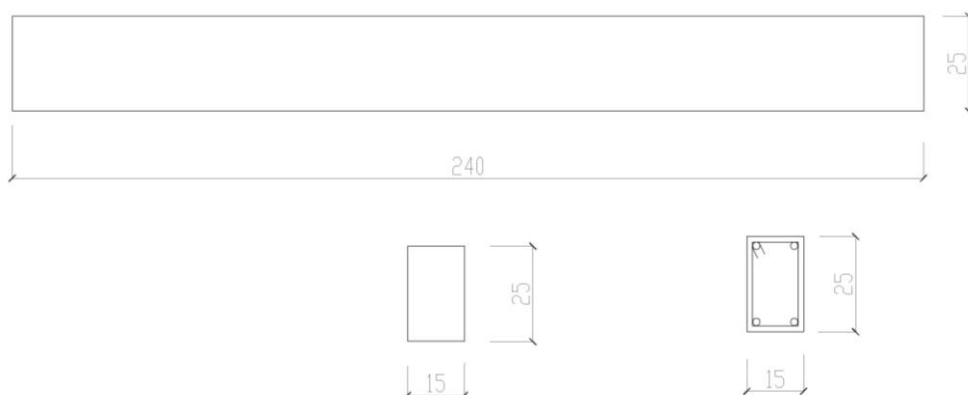
1. Общи положения

Текстил-бетонът е материал, който по всяка вероятност в бъдеще все по-често ще намира своето приложение в усилването на стоманобетонни елементи и конструкции, както и в изпълнението на отделни конструктивни елементи, особено като се има предвид неговата по-висока продължителност на експлоатация по отношение на стареенето от УВ лъчите. За разлика от другите познати материали за усилването на стоманобетонни конструкции и близки до него по структура например композитните FRP материали, за усилването на конструкции с текстил-бетон няма утвърдени международни стандарти.

Това от своя страна доведе до някои особености при подготовката и планирането на настоящия експеримент в съответствие с научноизследователска тема Д-75/15 на ЦНИП при УАСГ. Също така, за пръв път в България се провежда експеримент с този материал.

За целите на експеримента бяха произведени 12 броя стоманобетонни образци с размери – дължина 240 cm, височина 25 cm и ширина 15 cm. Произведени са в завод за производство на стоманобетонни елементи, като от бетоновата смес, от която са изготвени стоманобетонните греди, са излети и стоманобетонни кубчета, които са съхранявани при същите условия, както и стоманобетонните образци. След достигането на възраст от 28 дни стоманобетонните елементи са доставени в лабораторията на УАСГ, където е проведено и усилването им с текстилноармиран бетон.

За изработването на стоманобетонните образци е използван бетон C25/30 и армировъчна стомана B500. Гредите са армирани с надлъжна армировка за поемане на огъващите моменти 2 N12, а за поемане на напречните сили са поставени стремена N8 (фиг. 1), при което се разчита на цялостното поемане на напречните сили от поставените стремена. При определянето на надлъжната армировка е спазвана предпоставката за оптималност на напречното сечение и достигане на разрушаване вследствие на получените огъващи моменти без усилване, както и с усилване. Носимоспособността за поемането на напречните сили умишлено е завишена. Носимоспособността на огъване на стоманобетонните образци, определена съгласно [10] и [3] без усилване, е $M_{Rd} = 20,17$ kN.m. Носимоспособността на огъване на усиления стоманобетонен елемент с текстилно армиран бетон е $M_{ver} = 25,55$ kN.m, чрез което е осигурено увеличаване с 26,67% на носимоспособността на огъване.



Фиг. 1. Схема на стоманобетонните елементи



Фиг. 2. Схема на усиляването на стоманобетонните греди с текстилно армиран бетон

2. Усилване на стоманобетонни образци с текстилно армиран бетон

За целите на експеримента, заложи в [3], е предвидено усиляването на стоманобетонните образци с текстилно армиран бетон. Усиляването на стоманобетонните елементи се състои в полагане на 2 слоя въглеродни мрежи (текстил) в матрица от фин бетон, като общата дебелина на усиляващия слой е 10 mm, разстоянието между въглеродните армировъчни мрежи е 3 mm, съответно разстоянието между първата въглеродна мрежа и стоманобетона е 3 mm и бетоновото покритие от фин бетон върху въглеродната армировъчна мрежа също е 3 mm (фиг. 2). За усиляването на стоманобетонните елементи са използвани въглеродна мрежа TUDALI-BZT2-V.FRAAS, положена в бетонова матрица от фин бетон TUDALIT-TF10-PAGEL, с характеристики, дадени в табл. 2.1 [4]. При полагането на материала е избран ръчният метод с шпакла и мистрия (фиг. 3) и в проектите изчисления са използвани съответните коефициенти [5].

Таблица 2.1. Характеристики на текстилната армировка и на бетона, използван за усиляването

Въглеродна армировка – TUDALI-BZT2-V.FRAAS		
1.	Якост на опън – по посока на усиляването	1410 MPa
2.	Якост на опън в напречна посока	700 MPa
3.	Еластичен модул – по посока на усиляването	212 000 MPa
4.	Еластичен модул – в напречна посока	192 000 MPa
5.	Максимална деформация по посока на усиляването	0,74%
6.	Максимална деформация в напречна посока	0,44%
Бетонова матрица – фин бетон – TUDALIT-TF10-PAGEL		
1.	Натискова якост (характеристична стойност)	> 80 MPa
2.	Опънна якост	> 6 MPa
3.	Еластичен модул	> 25 000 MPa

Усиляването е извършено на 60-тия ден от производството на гредите в лаборатория при еднакви условия за всички образци от квалифициран персонал, като са спазени всички технологични особености и препоръки, дадени в [4] и [6]. Предварително основната плоскост е почистена и подготвена за полагането на материала.

След провеждането на усилването експерименталните образци са оставени да отлежат в ненатоварено положение около 45 дни с цел набиране на необходимата якост на усилващата система.



Фиг. 3. Полагане на финия бетон върху въглеродната армировъчна мрежа

При прилагането на усилването с текстилно армиран бетон е увеличена носимоспособността на стоманобетонните греди на огъване с 26%.

3. Основни цели и задачи на експеримента

Един от основните проблеми при усилването на стоманобетонните мостове е осигуряването на сигурността и дълготрайността на предприетото усилване във времето. Също така важно за успешното прилагане на усилването на стоманобетонни елементи с текстилно армиран бетон е качествено осигуряване на сцеплението между усилващата система и усиления елемент. При планирането на настоящия експеримент една от основните цели е оценка на влиянието на цикличното въздействие на връзката между текстилно армиран бетон и усиления елемент. Планирано е стоманобетонните усиления образци да се подложат на различен брой цикли на натоварване. С цел да се направи сравнение някои от образците са без циклично натоварване.

3.1. Определяне на сцеплението между текстилно армиран бетон и обикновен стоманобетон

За определяне на сцеплението между текстилно армиран бетон и обикновен стоманобетон в план-програмата на настоящия експеримент е избран методът pull-off. При този метод в усилващия слой се оформя кръгъл отвор с диаметър 52 mm [7] и [8], който навлиза поне 6 mm в бетонното покритие на стоманобетонния елемент. Към усилващия слой от текстилно армиран бетон се залепва стоманена сонда, която впоследствие се издърпва чрез измервателен уред DYNA Z15 процесор – (фиг. 4). След това се за-

писва максималната достигната сила на разрушение и съответно се определя типът на разрушението съгласно критериите, дефинирани в [3]. Получените напрежения на сцепление се дължат на силата на разрушение

$$\sigma_p = \frac{4F_p}{\pi D^2}, \quad (\text{f.3.1})$$

където σ_p е напрежение на разрушение на сцеплението при pull-off тест, [MPa];

F_p – сила на разрушение при pull-off тест, [N];

D – диаметър на натоварваната плоскост.



Фиг. 4. Изпитване на сцеплението между текстилно армиран бетон

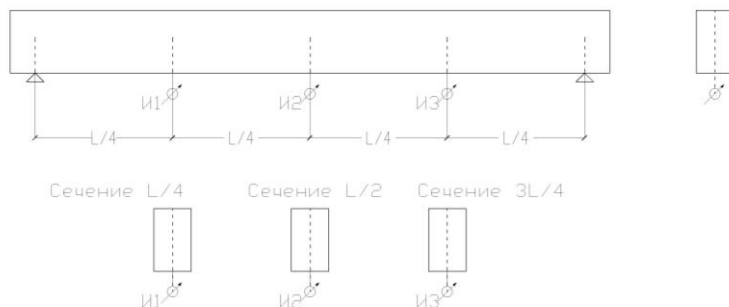
Изпитването на адхезията между текстилно армиран бетон и обикновен стоманобетон се предвижда за образците без циклично натоварване, както и за всяка група образци с различна продължителност на цикличното натоварване – за 150 000 цикъла на натоварване, 600 000 цикъла на натоварване, 1 200 000 цикъла. След всяко провеждане на изпитването на сцеплението се прави анализ и оценка на резултатите съгласно [3].

3.2. Провеждане на циклично натоварване

В експеримента се предвижда циклично натоварване на три групи греди, като във всяка група има по три греди, които се изпитват при еднакъв брой цикли. Броят на циклите за трите групи греди е приет съответно 150 000, 600 000 и 1200 000 цикъла, съгласно план-програмата на експеримента и [3].

Освен това, с цел да се определи поведението на гредите под действие на монотонно натоварване, преди цикличното натоварване се предвижда статично натоварване на стоманобетонните образци до експлоатационен товар на степени, при което се измерват провисванията на стоманобетонния елемент. Същият тип статично натоварване се предвижда и след приключване на цикличното натоварване.

При провеждането на статичното натоварване под стоманобетонния елемент има поставени провисомери на стойки, които се опират в повърхността на стоманобетонния елемент (фиг. 5). Провисомерите са разположени съответно в сечение $1/4L$, сечение $L/2$, сечение $3/4L$.

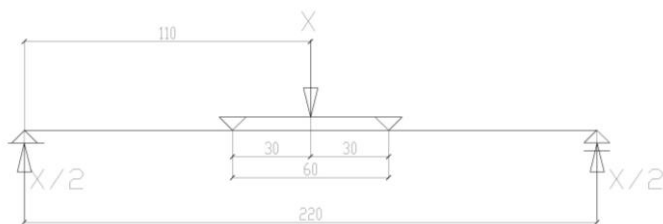


Фиг. 5. Разположение на провисомерите при статично изпитване до експлоатационен товар

При измерването на провисванията в средата и четвъртините на отвора се използват механични индикатори на фирмата „Mitutoyo“, Япония, с точност $t = 0,01 \text{ mm}$ и ход от 30 mm. Индикаторите са избрани и закрепени съгласно методите разгледани в [9].

Цикличното натоварване се извършва с хидравлична преса, чиято честота на натоварване е около 4,5 Hz, и максимална стойност на силата 27,5 kN, с амплитуда 3 kN. Тази сила приблизително отговаря на характеристичните усилия в гредите, получаващи се при често повтарящ се товар, определен като силата породена в хидравличния цилиндър, е получена чрез редуциране на изчислителната носимоспособност на огъване на усиления елемент с $\gamma_Q = 1,35$ и $\psi_1 = 0,75$ [3]. Товарът от хидравличния цилиндър се прехвърля към експерименталния образец посредством стоманена траверса (фиг. 6) с дължина 60 cm, при което силата се разделя на две равни части и симетрично върху изпитвания образец.

Изпитваните стоманобетонни образци по време на вибрационното натоварване са подпрени в краищата на еластомерни лагери.



Фиг. 6. Схема на натоварване на стоманобетонните образци

След приключване на цикличното въздействие се заснемат получените пукнатини в стоманобетонните елементи; също така се обработват и анализират данните от проведените статични натоварвания.

При завършване на етап II от план-програмата на експеримента, описан в [3], който включва статично натоварване до експлоатационен товар по степени преди и след, както самото циклично въздействие на съответните стоманобетонни елементи, се прави

селекция и разпределение на елементите към следващите два етапа – етап III – изпитване на адхезията между текстилно армиран бетон и обикновен бетон и етап IV – статично натоварване до разрушаване, съгласно критериите, дефинирани в [3].

3.3. Статично натоварване до разрушаване

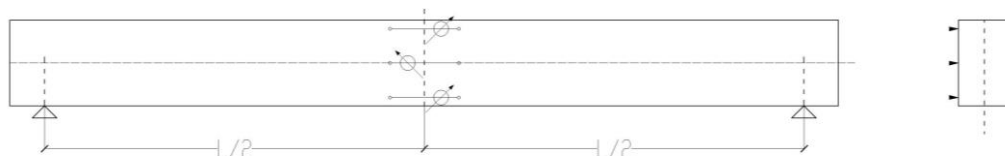
След провеждането на първите изпитвания в експеримента и обработката на част от резултатите от етап III – определяне на сцеплението между текстилно армиран бетон и обикновен стоманобетон на образци без циклично натоварване и на образци с циклично натоварване – се забелязва голяма вариация в получените резултати, което наложи увеличаването на изпитванията на образците спрямо първоначално планираните. Затова бе въведен и етап IV – статично натоварване до разрушаване.

Целта на този етап е да открие евентуална промяна в носимоспособността на стоманобетонните елементи при различна продължителност на вибрационното натоварване и да внесе яснота в механизма на разрушение на стоманобетонните греди.

Затова се планира първоначално изпитването на няколко елемента без циклично натоварване и изпитването на поне един елемент от две групи с различна продължителност на вибрационното натоварване.

При разполагането на провисомерите в този етап е необходимо и разполагането на провисомери при опорите, чрез които да се отчетат евентуални завъртания при опорите. Също така, при статичното натоварване до разрушаване се предвижда и използването на линейни опори в двата края на гредата.

За определяне на деформациите, които биха довели до разрушаване на образеца в средата на гредата, се предвижда разполагането на три индуктивни датчика по височина на средното напречно сечение, като двата крайни датчика са разположени на нивото на армировъчната стомана. Тези индикатори се монтират върху предварително монтирани към повърхността на бетона мерни бази с марки с конични отвори. Схемата на разположение на индикаторите с мерните марки е показана на фиг. 7 в началния етап на натоварване.



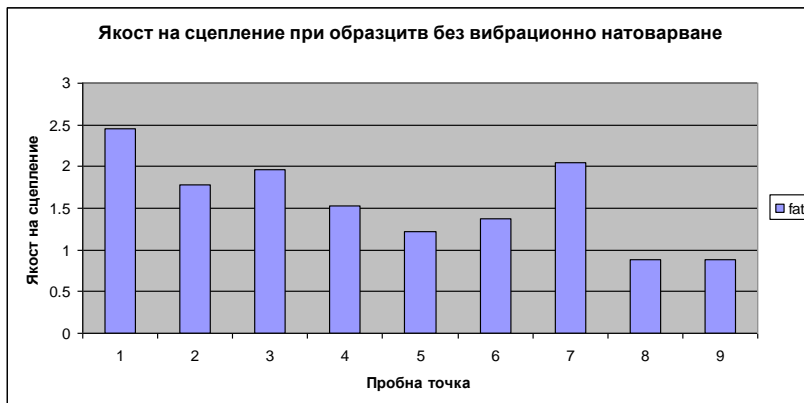
Фиг. 7. Схема на разположение на индуктивните датчици

При провеждането на статичното натоварване до разрушение се предвижда поетапното увеличаване на натоварването на по-малки стъпки след достигане на експлоатационният товар, с цел по-прецизно определяне на деформациите, които възникват в изпитвания образец.

4. Получени резултати, изводи и заключения

За момента не е възможно да се направят окончателни изводи и заключения, тъй като планираните изследвания в настоящия проект все още не са завършени изцяло и съответно не са налични крайните резултати от експеримента, вследствие на увеличил се обем на план-програмата на експеримента в процеса на работа.

При обработването и анализа на резултатите за сцепление между усилващата система от текстилно армиран бетон и стоманобетона се получават големи разлики между отделните стойности (фиг. 8). Поради този факт е необходимо разширяването на обхвата на план-програмата на експеримента и въвеждането на още един етап IV – натоварване на стоманобетонни елементи до разрушаване. По този начин би се открила евентуална деградация в носимоспособността на усилващата система във вариация на цикличното натоварване.



Фиг. 8. Разпределение на якостта на сцепление при елементите без циклично натоварване

Поради наличните данни от провеждания експеримент и поради факта, че засега не са изпълнени всички етапи от експеримента, вследствие на увеличил се обем на планираните изпитвания, е невъзможно да се направят окончателни изводи за получените резултати. Но от друга страна е необходим и допълнителният етап IV, за да се оцени истинската носимоспособност на стоманобетонните елементи и ефективността на усилването с текстилно армиран бетон след различно циклично натоварване.

Благодарности

Настоящата научноизследователска разработка [3] по договор БН-75/2015 е подкрепена финансово от Център за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Димов, Д. Обследване и изпитване на строителни конструкции и мостове. София, 2010.
2. Bergmeister, K., Fingerloos, F. Johann_dietrich Woerner. Beton Kalender 2010. Bruecken. Betonbau im wasser, Erns and Sohn, 2010.
3. Топуров, К. и колектив. Изследване на прилагане на текстил-бетон за усилване на конструктивни елементи на съществуващи мостове железопътни. Годишен отчет, договор Д-75/15, ЦНИП при УАСГ, София, 2015.
4. DIBt, Zulassungsnummer Z-31.10-182. Verfahren zur Verstaerkung von Stahlbeton mit TUDALIT (Textilbewehrter Beton). Juni 2014 Berlin.

5. Richtlinie fuer Eignungsnachweis zum Verstaerken von Betonbauteilen mit Textilbeton fuer Bausaetze mit allgemeiner bauausichtlicher Zulassung. Fassung Mai 2015.

6. *Walther, T., Weiland, S.* Baustellenverfahren für Verstärkungen mit Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau Spezial 110 (2015), Supplement ,“Verstärken mit Textilbeton“.

7. ASTM D7522/D7522M-09 Standard Test Method for Pull-Off Strength for FRP Bonded to Concrete Substrate.

8. Deutscher Ausschuss fuer Stahlbeton (Hrsg.). Richtlinie fuer Schutz und Instandsetzung von Betonbauteilen. Teilen von 1 bis 4. Deutsche Ausschuss fuer Stahlbeton, Berlin Beuth, 2001.

9. *Mitutoyo.* Quick guide to measurement. Precision instruments in dimensional metrology. www.mitutoyo.eu

10. БДС EN 1992 2005. Проектиране на бетонни и стоманобетонни конструкции.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CYCLE LOADING ON THE ADHESION OF BEAMS STRENGTHENED WITH TEXTILE REINFORCED CONCRETE

S. Boshnakov¹

Keywords: *strengthening of structures, concrete, textile reinforced concrete, experiments*

ABSTRACT

Many of the existing bridges in Bulgaria have reduced capacity as a result of different factors. During reconstruction and modernization these bridges have to be strengthened and/or retrofitted. In the world practice there are different ways of strengthening the superstructure and the substructure. One of the ways of strengthening bridge concrete beams (in shear and bending forces) is the use of FRP in the matrices of epoxy resin.

This paper describes the planning, organizing and conducting an experiment for the evaluation of the influence of cycle loading, typical for the bridges, on the adhesion between the concrete structure and the textile reinforced concrete. This is an innovative high tech material used for first time in a scientific experiment in Bulgaria examining its applicability in strengthening concrete bridge elements. The described experiment researches the adhesion between textile reinforced concrete and concrete under cycle loading. Some of the elements would be loaded to failure.

¹ Simeon Boshnakov, Eng. PhD student, Dept. “Transport Structural Facilities”, UACEG, 1 H. Smirnski Blvd., Sofia 1046, e-mail: boshnakov_fte@uacg.bg

